

LA INDUSTRIA TEXTIL Y SU CONTROL DE CALIDAD

I. Aspectos preliminares

Fidel Eduardo
Lockuán Lavado



LA INDUSTRIA TEXTIL
Y SU CONTROL DE CALIDAD

Aspectos preliminares

por

Fidel Eduardo Lockuán Lavado

Segunda revisión (diciembre de 2012)

Nota del autor:

Si vas a imprimir esta obra, no te olvides de esta hoja, pues es la que permite que más gente pueda darle uso.

INTRODUCCIÓN

En lo tocante a la ciencia, la autoridad de un millar no es superior al humilde razonamiento de una sola persona.

Galileo Galilei

Esta serie de siete libros es el compendio de tomar notas durante tres años como estudiante, catorce como trabajador de fábrica y cuatro como técnico docente. En este lapso de tiempo noté la conveniencia de que todos los estudiantes (y los que ya no lo eran) pudieran tener la misma información textil básica, pero mucha de ésta se encontraba dispersa en múltiples documentos y en algunos casos, en inglés, restringiendo el acceso a su valioso contenido.

Los conceptos y principios generales casi siempre son los mismos, así que no los estoy descubriendo, solo ayudo en darlos a conocer, porque si el conocimiento no se comparte, entonces se pierde.

Quiero que esta obra sea de distribución gratuita y libre, con licencia *copyleft*. Te cedo el derecho de reproducirla y copiarla, con la única prohibición de darle un uso comercial (no la vendas), pues el afán lucrativo siempre ha impedido el verdadero *desarrollo*.

Por último, pido disculpas por el contenido incompleto, errores y omisiones.

El autor

CONTENIDO

METROLOGÍA

La ciencia que estudia el sistema de mediciones se llama METROLOGÍA, cuyo fin es analizar por medio de mediciones una constatación con valores nominales (teóricos).

La metrología (del griego *μετρον*, medida y *λογος*, tratado) es la ciencia de la medida. Tiene por objetivo el estudio de los sistemas de medida en cualquier campo de la ciencia.

La Metrología tiene dos características muy importantes: el resultado de la medición y la incertidumbre de medida.

Medición

Medir es comparar (directa o indirectamente), dada una magnitud, con otra de la misma especie tomándola como unidad.

Unidad

Se entiende por unidad a un determinado valor en función del cual otros valores son enunciados. Empleándose como unidad el *metro*, se puede decir, por ejemplo, cuál es la longitud de una calle. La unidad fijada por definición es independiente del prevalecimiento de condiciones físicas como temperatura, grado higroscópico (humedad), presión, etc.

Patrón

Es la materialización de la unidad y está influenciada por las condiciones físicas, se puede decir también que es la materialización de la unidad, solamente en condiciones específicas.

El *metro patrón*, por ejemplo, tiene una longitud de un metro solamente cuando está a una determinada temperatura, o a una determinada presión y soportado también de un modo definido. Obviamente, el cambio de cualquiera de esas condiciones alterará la longitud original.

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN

En la toma de cualquier medida deben ser considerados tres elementos fundamentales: el método, el instrumento y el operador

1. Método

- *Medición directa:* Consiste en evaluar la magnitud a medirse, por comparación directa con instrumentos, aparatos y máquinas de medición.

  Este método es, por ejemplo, empleado en la confección de piezas-prototipos, esto es, piezas originales utilizadas como referencia, o aún, cuando el número de piezas por ejecutar fuese relativamente pequeño.

- *Medición indirecta:* Consiste en evaluar la medida con un dispositivo y/o herramienta que facilite la medición.

  Los aparatos utilizados son los llamados indicadores o comparadores-amplificadores, los cuales, para facilitar la lectura, amplifican las diferencias constatadas, por medio de procesos mecánicos o físicos (ampliación mecánica, óptica, neumática, etc.)

2. **Instrumento**

   La exactitud relativa de las medidas depende, evidentemente, de la calidad de los instrumentos de medición empleados. Así, la medición de una longitud con un metro defectuoso, dará un resultado dudoso. Por tanto, para hacer una medición, es indispensable que el instrumento esté controlado y que su aproximación permita evaluar la magnitud verificada, con la precisión exigida.

3. **Operador**

   Es el más importante de los elementos de medición. Es el factor discrepante de un proceso de evaluación, de la habilidad del operador depende fundamentalmente la precisión obtenida. Un buen operador, sirviéndose de instrumentos poco precisos, consigue mejores resultados que un operador poco hábil con excelentes instrumentos.

   Debe pues, el operador, conocer perfectamente los instrumentos que utiliza, y tener iniciativa para adaptar a las circunstancias, el método más aconsejable y poseer conocimientos suficientes para interpretar los resultados hallados.

LABORATORIO DE METROLOGÍA

En los casos de medición de piezas muy precisas, se torna necesaria una climatización del local, ese local debe satisfacer las siguientes exigencias:

1. Temperatura constante
2. Humedad relativa constante
3. Ausencia de vibraciones y oscilaciones
4. Espacio suficiente
5. Buena iluminación y limpieza

EXACTITUD Y PRECISIÓN

Para diferenciar los conceptos de *exactitud* y *precisión* consideremos los siguientes ejemplos:

- Un reloj que además de no marcar la hora oficial, cada hora se adelanta 3 minutos con relación a ésta. Este es un instrumento que no es ni *preciso* ni *exacto*.
- Ahora consideremos un reloj que ni se adelanta ni se atrasa, pero con respecto a la hora oficial tiene una diferencia constante de 5 minutos. Este es un instrumento *preciso* pero no es *exacto*.
- Por último consideremos un reloj que ni se atrasa ni se adelanta y además marca la hora oficial. Este es un instrumento *preciso* y *exacto*.

Entonces la exactitud tiene que ver con la cercanía con la cual la lectura de un instrumento se aproxima al valor verdadero de la variable medida.

La precisión se refiere a qué tan cercano está un valor individual medido o calculado con respecto a los otros, esto es, dado un valor fijo de una variable, la precisión es una medida del grado con el cual mediciones sucesivas difieren una de otra.

Otro ejemplo:

Usando una analogía de una diana de prácticas para tiro, los agujeros en cada blanco se pueden imaginar cómo las predicciones en una técnica numérica, mientras que el centro del blanco representa la verdad.

La *inexactitud* (también conocida como *sesgo*) se define como un alejamiento sistemático de la verdad. En la figura observamos que los disparos en **C** están más juntos que en **A**, los dos casos son igualmente inexactos ya que ambos se centran en la esquina superior izquierda del blanco.

La *imprecisión* (también llamada *incertidumbre*), sobre el otro lado, se refiere a la magnitud del esparcimiento de los disparos. Por lo tanto aunque en **B** y **D** son igualmente exactas, la última es más precisa, ya que los disparos están en un grupo más compacto.

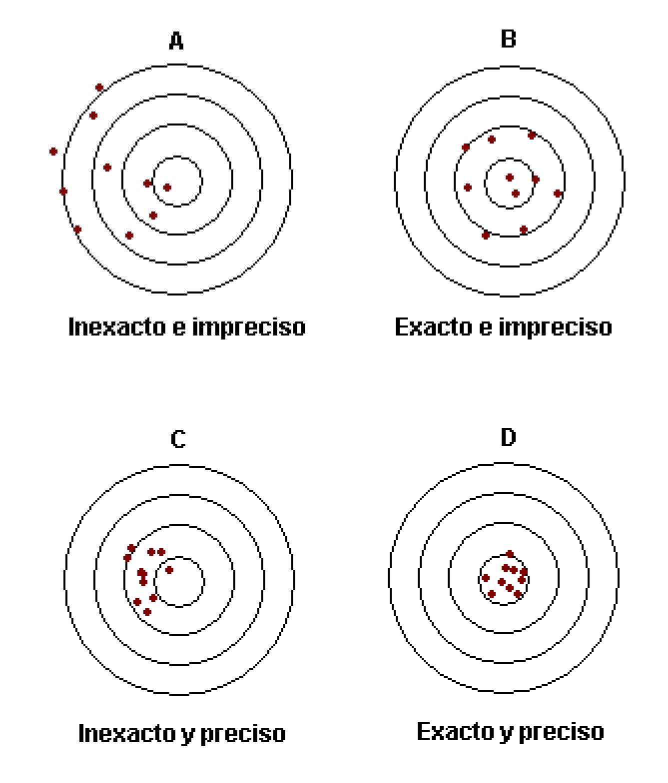


Fig. 1 Ejemplo gráfico entre la diferencia de exactitud y precisión

SISTEMAS DE MEDICIÓN

Un sistema de medición es el conjunto básico de unidades de medida a partir del cual se deriva el resto. Existen varios sistemas de unidades:

- Sistema Anglosajón
- Sistema Métrico Decimal
- Sistema Cegesimal
- Sistema Técnico
- Sistema Internacional

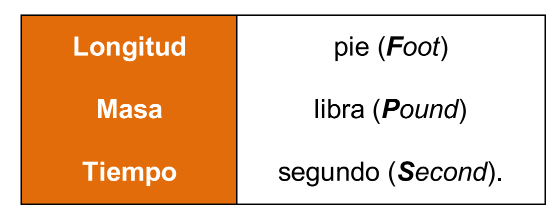
SISTEMA ANGLOSAJÓN

Conocido también como Sistema Inglés, Sistema Imperial o sistema FPS.

Es el conjunto de las unidades no métricas que se utilizan actualmente en los Estados Unidos y en muchos territorios de habla inglesa (como en el Reino Unido).

Este sistema se deriva de la evolución de las unidades locales a través de los siglos, y de los intentos de estandarización en Inglaterra; las unidades mismas tienen sus orígenes en la antigua Roma.

Existen discrepancias entre los sistemas de Estados Unidos e Inglaterra, e incluso sobre la diferencia de valores entre otros tiempos y ahora. Hoy en día, estas unidades están siendo lentamente reemplazadas por el Sistema Internacional de Unidades, aunque en Estados Unidos la inercia del antiguo sistema y el alto costo de migración ha impedido en gran medida el cambio.



Longitud	pie (***F**oot*)
Masa	libra (***P**ound*)
Tiempo	segundo (***S**econd*).

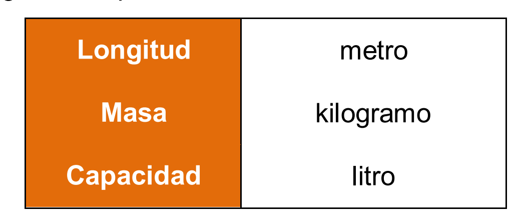
Otras unidades de longitud son la **yarda** (*yd*), que equivale a 3 pies y la **pulgada** (*pulg*), que viene a ser la doceava parte de un pie.

Asimismo, una libra equivale a 7000 **grains** (*gr*) y/o 16 **onzas** (*onz*)

SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

El sistema métrico decimal o simplemente sistema métrico es un sistema de unidades basado en el metro, en el cual los múltiplos y submúltiplos de una unidad de medida están relacionadas entre sí por múltiplos o submúltiplos de 10.

Fue implantado por la 1ª Conferencia General de Pesos y Medidas (París, 1889), con el que se pretendía buscar un sistema único para todo el mundo para facilitar el intercambio, ya que hasta entonces cada país, e incluso cada región, tenía su propio sistema, a menudo con las mismas denominaciones para las magnitudes, pero con distinto valor.



Longitud	metro
Masa	kilogramo
Capacidad	litro

Metro. *La diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre, cuyo patrón se reprodujo en una barra de platino iridiado. El original se depositó en París y se hizo una copia para cada uno de los veinte países firmantes del acuerdo.*

Litro. *Equivalente a 1 decímetro cúbico.*

Kilogramo. *Igual a la masa de un litro de agua pura y materializado en un kilogramo patrón.*

<u>Nota sobre el kilogramo</u> La denominación de esta unidad induce a error dado que se puede interpretar como múltiplo del gramo. Sin embargo, como se vio, se corresponde con la masa de un objeto "patrón", único caso en el que se mantiene este método, por las grandes dificultades que presenta definirlo de modo semejante a los demás, aunque se está estudiando el modo de hacerlo.

Como **múltiplos** se adoptaron: *deca* 10; *hecto* 100; *kilo* 1000; *miria* 10000 y como **submúltiplos** se adoptaron: *deci* 0,1; *centi* 0,01; *mili* 0,001.

Actualmente este sistema ha sido sustituido por el Sistema Internacional de Unidades (SI) al que se han adherido muchos de los países que no adoptaron el Sistema Métrico Decimal.

SISTEMA TÉCNICO

El sistema técnico de unidades es un sistema de unidades derivado del primitivo sistema métrico decimal, todavía utilizado en la técnica por ser sus unidades muy intuitivas.

Una diferencia importante con otros sistemas del mismo origen, como el MKS o el CGS, es que las unidades fundamentales son:



Longitud	metro
Fuerza	kilopondio (kilogramo-fuerza)
Tiempo	segundo

En este sistema, la masa se mide en UTM = Unidad técnica de masa, siendo la UTM una unidad derivada de las fundamentales F L T, y definida como aquella masa a la que si se aplica una fuerza de 1 kp, experimenta una aceleración de 9,8 m/s^2.

Actualmente el Sistema Técnico está en desuso.

SISTEMA CEGESIMAL

El Sistema Cegesimal de Unidades, también llamado Sistema CGS o Sistema Gaussiano, su nombre deriva de las letras iniciales de sus tres unidades. Ha sido casi totalmente reemplazado por el Sistema Internacional de Unidades, aunque aún continúa en uso: muchas de las fórmulas de electromagnetismo son más simples en unidades CGS, una gran cantidad de libros de física las usan y, en muchas ocasiones, son más convenientes en un contexto en particular. Las unidades CGS se emplean con frecuencia en astronomía.

Las unidades del sistema cegesimal son las siguientes:

Longitud	centímetro
Masa	gramo
Tiempo	segundo

SISTEMA INTERNACIONAL

El Sistema Internacional de Unidades, abreviado SI, también denominado Sistema Internacional de Medidas, es el sistema de unidades más extensamente usado. Junto con el antiguo Sistema Métrico Decimal, que es su antecesor y que ha perfeccionado, el SI también es conocido como *sistema métrico*, especialmente en las naciones en las que aún no se ha implantado para su uso cotidiano.

Fue creado en 1960 por la Conferencia General de Pesas y Medidas, que inicialmente definió seis unidades físicas básicas o fundamentales. En 1971, fue añadida la séptima unidad básica, el *mol*.

Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	ampere	A
Temperatura termodinámica	kelvin	K
Intensidad luminosa	candela	cd
Cantidad de sustancia	mol	mol

Una de las principales características, que constituye la gran ventaja del SI, es que sus unidades están basadas en fenómenos físicos fundamentales. La única excepción es la unidad de la magnitud masa, el kilogramo, que está definida como *la masa del prototipo internacional del kilogramo* o aquel cilindro de platino e iridio almacenado en una caja fuerte de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas.

Equivalencias entre las unidades del sistema inglés y el SI

Como se verá en los volúmenes siguientes, es importante conocer las equivalencias entre las unidades del SI y el sistema inglés para poder realizar las conversiones necesarias. Aquí algunas:

Longitud:

1 pulg = 2,54 cm

1 pie = 30,48 cm

1 yd = 0,9144 m

Peso:

1 gr (grano, grain) = 0,0648 g

1 onza = 28,35 g

1 libra = 453,6 g

ESTADÍSTICA

La estadística es una rama de las matemáticas que conjunta herramientas para recolectar, organizar, presentar y analizar datos numéricos u observacionales. Presenta números que describen una característica de una muestra. Resulta de la manipulación de datos de la muestra según ciertos procedimientos especificados.

El término *estadística* tiene su raíz en la palabra **Estado**. Surge cuando se hace necesario para sus intereses cuantificar conceptos. En la mayoría de los casos esta cuantificación se hará en función de unos fines económicos o militares. El estado quiere conocer censo de personas, de infraestructura, de recursos en general, para poder obtener conclusiones de esta información.

Actualmente la estadística es una ciencia. No es ya una cuestión reservada al estado. Podríamos decir que se encuentra en la totalidad del resto de ciencias. La razón es clara: por una parte la estadística proporciona técnicas precisas para obtener información, (recogida y descripción de datos) y por otra parte proporciona métodos para el análisis de esta información.

De ahí el nombre de ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA, ya que el objetivo será, a partir de una muestra de datos (recogida según una técnica concreta), la descripción de las características más importantes, entendiendo como características, aquellas cantidades que nos proporcionen información sobre el tema de interés del cual hacemos el estudio.

A continuación, algunas definiciones de términos empleados en esta ciencia:

POBLACIÓN

Es el conjunto de todos los individuos o elementos (personas, objetos, animales, etc.) que tienen una característica común o que porten información sobre el fenómeno que se estudia. Por ejemplo, si estudiamos la edad de los habitantes en una ciudad, la población será el total de los habitantes de dicha ciudad.

MUESTRA

Subconjunto de la población seleccionado de acuerdo con un criterio, y que sea representativo de la población. Por ejemplo, elegir 30 personas por cada distrito de la ciudad para saber sus edades, y este será representativo para la ciudad.

VARIABLE

Es la característica que estamos midiendo. Existen dos categorías o tipo de variables:

- **Cualitativa:** Es aquella que expresa un atributo o característica, no se puede medir, ejemplo: Nacionalidad, color de piel, sexo, etc.
- **Cuantitativa:** Es aquella que podemos expresar numéricamente: edad, peso, nº. de hijos, ingresos anuales, etc. Ésta a su vez la podemos subdividir en:
  - **a) Discreta**, Cuando sólo pueden tomar valores enteros (1, 2, 8, -4, etc.). Ejemplos: el número de hijos de una familia, el de obreros de una fábrica, el de alumnos de la universidad, etc.
  - **b) Continua** Pueden tomar cualquier valor real dentro de un intervalo. Ejemplos, velocidad, peso, estatura, distancias, etc.

La variable se denota por las mayúsculas de letras finales del alfabeto castellano. A su vez cada una de estas variables puede tomar distintos valores, colocando un subíndice, que indica orden:

$$X = (X_1, X_2, X_3, \ldots\ldots , X_{K-2}, X_{K-1}, X_K)$$

MUESTREO

Imagina que en un colegio has seleccionado a 36 alumnos (= **muestra**) para saber si tienen internet en casa. Y sabes que la institución tiene en total 720 alumnos (= **población**). Pero, ¿qué significa elegir a 36 de 720? ¿Qué proporción de la población estás entrevistando? Y a la hora de obtener conclusiones sobre la población ¿a cuántos alumnos de la población representa cada uno de los de la muestra?

Para calcular la proporción de alumnos que estamos entrevistando, dividimos el tamaño de la muestra entre el de la población: 36/720 = 0,05, lo que quiere decir que estamos pasando la encuesta al 5% de la población.

Ahora vamos a calcular a cuántos individuos representa cada uno de los elementos de la muestra. Hacemos la división contraria, dividimos el número de individuos de la población entre los de la muestra: 720/36 = 20, lo que querría decir que cada uno de los elementos de la muestra representa a 20 alumnos del colegio.

Los dos conceptos que acabamos de ver tienen la siguiente definición formal:

1. **Factor de elevación**: es el cociente entre el tamaño de la población y el tamaño de la muestra N/n. Representa el número de elementos que hay en la población por cada elemento de la muestra.
2. **Factor de muestreo**: es el cociente entre el tamaño de la muestra y el tamaño de la población n/N. Si se multiplica por 100, obtenemos el porcentaje de la población que representa la muestra.

MUESTREO PROBABILÍSTICO

En el muestreo probabilístico todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser elegidos.

Los individuos que formarán parte de la muestra se elegirán al azar mediante números aleatorios. Existen varios métodos para obtener números aleatorios, los más frecuentes son la utilización de tablas de números aleatorios o generarlos por computadora.

El muestreo aleatorio puede realizarse de distintas maneras, las más frecuentes son el muestreo simple, el sistemático, el estratificado, el muestreo por conglomerados y el muestreo aleatorio mixto.

1. Muestreo aleatorio simple

Es el método conceptualmente más simple. Consiste en extraer todos los individuos al azar de una lista (marco de la encuesta). En la práctica, a menos que se trate de poblaciones pequeñas o de estructura muy simple, es difícil de llevar a cabo de forma eficaz.

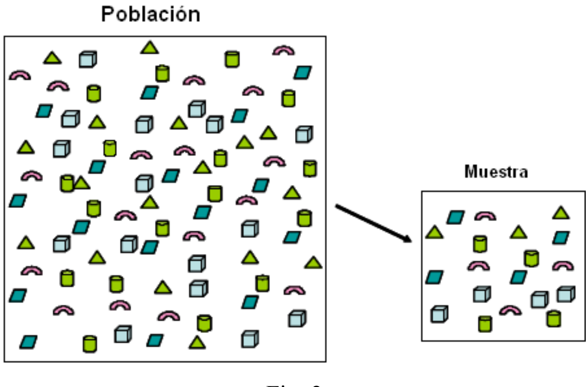


Fig. 2

Cuando un elemento es seleccionado, y hemos medido las variables necesarias para el estudio y puede volver a ser seleccionado, se dice que hacemos un muestreo aleatorio con reemplazo o reposición.

En caso de que el elemento no vuelva a formar parte de la población de manera que no puede volver a ser seleccionado se dice que se ha obtenido la muestra mediante un muestreo aleatorio sin reposición o reemplazo.

Para nuestro ejemplo al elegir la muestra entre los 720 alumnos del colegio, si vamos a preguntar por el hecho de que posean internet en casa, no nos interesa preguntarle dos veces a la misma persona, luego una vez elegido un elemento de la muestra no queremos volverlo a seleccionar. Realizaríamos pues un muestreo aleatorio sin reposición o sin reemplazo.

Aunque los dos métodos son diferentes, cuando el tamaño de la población es infinito, o tan grande que puede considerarse infinito, ambos métodos nos llevarían a las mismas conclusiones. Sin embargo, si la fracción de muestreo n/N es mayor que 0,1 (muestreamos más del 10% de la población) la diferencia entre las conclusiones que se obtienen pueden ser importantes.

2. Muestreo aleatorio sistemático

En este caso se elige el primer individuo al azar y el resto viene condicionado por aquél.

Se nos puede ocurrir otra manera de muestrear. Continuando con el mismo ejemplo, ahora numeramos a los alumnos del 1 al 720. Elegimos entonces un número *x* al azar entre 1 y 20 (por ser 20 el factor de elevación) y ése sería el primer alumno seleccionado, el que ocupa el lugar *x*. Luego tomamos el *x + 1·20*, *x + 2·20* y así sucesivamente. No es un muestreo aleatorio porque todas las muestras no son igualmente probables.

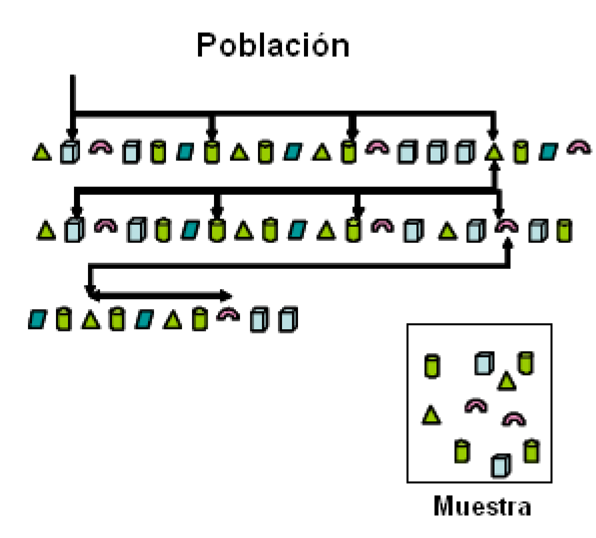


Fig. 3

Vamos a definir este tipo de muestreo.

Supongamos que tenemos una población que consta de *N* elementos, ordenados y numerados del 1 hasta *N*, y deseamos obtener una muestra de tamaño *n*. Dicha población la podemos dividir en *n* subconjuntos, cada uno de ellos con v elementos $(v = N/n)$, es decir, cada subconjunto consta de tantos elementos como indica el factor de elevación.

Tomamos aleatoriamente un elemento de los enumerados desde 1, 2 hasta N/n, y lo llamamos x_0; después se toman los siguientes elementos $x_0 + v$, $x_0 + 2v$, $x_0 + 3v$, $x_0 + 4v$ ...

En caso de que *v* no sea entero, se redondea al entero menor, con lo que puede que algunas muestras tengan tamaño *n−1*. Este hecho introduce una pequeña perturbación en la teoría del muestreo sistemático, que es despreciable si $n > 50$.

Este tipo de muestreo requiere que previamente nos hayamos asegurado de que los elementos ordenados no presentan periodicidad en las variables objeto de estudio, puesto que si hay periodicidad y el período está próximo al valor v, los resultados que se obtengan tendrán grandes desviaciones y no tendrán validez.

El muestreo sistemático es equivalente al muestreo aleatorio si los elementos se encuentran enumerados de manera aleatoria.

Las **ventajas** de dicho método son:

- ☑ Extiende la muestra a toda la población.
- ☑ Es de fácil aplicación.

Los **inconvenientes** que presenta son:

- ☒ Aumento de la varianza si existe periodicidad en la numeración de los elementos, produciéndose sesgo por selección.

☒ Problemas a la hora de la estimación de la varianza.

Este método es muy simple de aplicar en la práctica y tiene la ventaja de que no hace falta disponer de un marco de encuesta elaborado. Puede aplicarse en la mayoría de las situaciones, la única precaución que debe tenerse en cuenta es comprobar que la característica que estudiamos no tenga una periodicidad que coincida con la del muestreo.

3. Muestreo aleatorio estratificado

Se divide la población en grupos en función de un carácter determinado y después se muestrea cada grupo aleatoriamente, para obtener la parte proporcional de la muestra. Este método se aplica para evitar que por azar algún grupo esté menos representado que los otros.

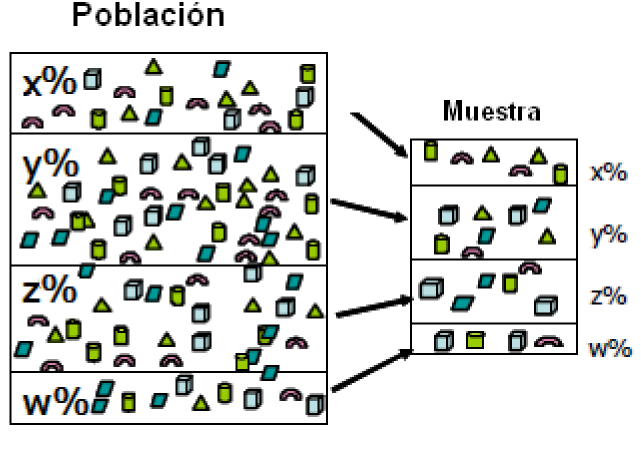


Fig. 4

El muestreo estratificado tiene interés cuando la característica en cuestión puede estar relacionada con la variable que queremos estudiar. Por ejemplo, imagina que queremos hacer un estudio para saber a qué dedican su tiempo libre las personas que viven en tu ciudad. Todos sabemos que los ancianos no realizan el mismo tipo de actividades que los jóvenes, ni tampoco que las personas de mediana edad, como por ejemplo tus padres. Nos interesaría entonces que toda esta información que tenemos de antemano nos ayude a construir una muestra más significativa. De hecho, nos interesa que todos esos colectivos estén representados en nuestra muestra. A los colectivos que hemos definido, en este caso por edad, los llamaremos **estratos**. Lo que haremos será dividir nuestra muestra de manera que haya representantes de todos los estratos. Vamos a definir rigurosamente la manera de hacer un muestreo en este caso.

Consideramos que tenemos la población de tamaño *N* dividida en *k* subpoblaciones de tamaños $N_1, N_2, ..., N_k$. Dichas subpoblaciones son disjuntas y cumplen que $N_1 + N_2 + \ldots + N_k = N$. Cada una de las subpoblaciones se denomina estrato. Si deseamos obtener una muestra de tamaño *n* de la población inicial, seleccionamos de cada estrato una muestra aleatoria de tamaño n de manera que $n_1 + n_2 + \ldots + n_k = n$.

¿Qué ventajas e inconvenientes presenta el muestreo estratificado? Las vemos a continuación.

Ventajas:

☑ Podemos tener información con más precisión dentro de las subpoblaciones sobre la característica objeto del estudio.

☑ Podemos aumentar la precisión de los estimadores de las características de toda la población.

Inconvenientes:

☒ La elección del tamaño de las muestras dentro de cada estrato para que el total sea n.

☒ La división en estratos en algunas poblaciones puede no ser sencilla.

En general, el muestreo estratificado proporciona mejores resultados que el muestreo aleatorio, mientras más diferentes sean los estratos entre sí y más homogéneos internamente.

Podemos considerar 3 métodos para distribuir el tamaño de la muestra entre los estratos:

a. **Afijación simple.** Se asigna el mismo tamaño a cada estrato. Como consecuencia se favorece a los estratos más pequeños y se perjudica a los grandes en cuanto a precisión.

b. **Afijación proporcional.** De acuerdo al tamaño de cada estrato, es decir, si tomamos el estrato j-ésimo de tamaño N_j , entonces una muestra de dicho estrato será de tamaño $n \cdot (N_j/N)$, siendo N el total de la población y n el tamaño de la muestra.

c. **Afijación óptima.** Se tiene en cuenta la proporción y la variabilidad de la característica que estamos considerando en cada estrato. Por ejemplo, si conocemos que la varianza en la altura de los alumnos varones (50% de la población) es de 15 cm y en las alumnas mujeres (50% de la población) es de 5 cm, la proporción de los alumnos es 750 a 250, es decir, de 3 a 1 y la muestra deber guardar esa proporción.

4. Muestreo aleatorio por conglomerados

Se divide la población en varios grupos de características parecidas entre ellos y luego se analizan completamente algunos de los grupos, descartando los demás.

Dentro de cada conglomerado existe una variación importante, pero los distintos conglomerados son parecidos. Requiere una muestra más grande, pero suele simplificar la recogida de muestras.

Frecuentemente los conglomerados se aplican a zonas geográficas.

Por ejemplo, nos planteamos hacer un estudio de la altura de los alumnos de Secundaria de tu ciudad. En lugar de hacer un muestreo de todos los chicos de tu ciudad podríamos plantearnos elegir algunos barrios, ya que con respecto a la altura, los barrios son como "pequeñas poblaciones" comparables a la ciudad. En este caso ¿podemos simplificar la elección de la muestra al elegir los barrios sin perder precisión? La respuesta es que en este caso, podríamos elegir barrios y analizar las alturas de los estudiantes de cada barrio sin perder precisión. Vamos a ver el método que nos lo permite.

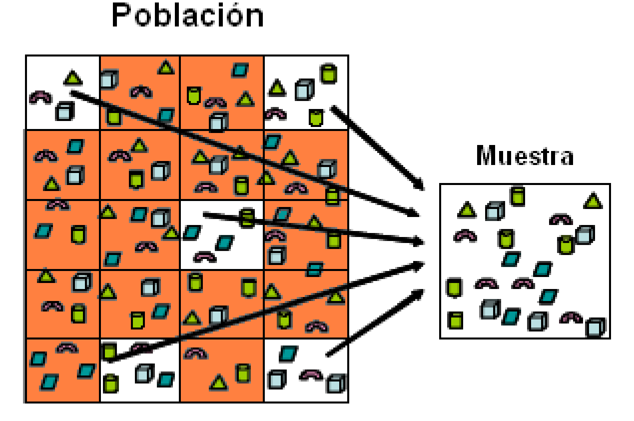


Fig. 5

En el muestreo por conglomerados, la población se divide en unidades o grupos, llamados **conglomerados** (generalmente son unidades o áreas en los que se ha dividido la población), que deben ser lo más representativas posible de la población, es decir, deben representar la heterogeneidad de la población objeto del estudio y ser entre sí homogéneos.

El motivo para realizar este muestreo es que a veces resultaría demasiado costoso realizar una lista completa de todos los individuos de la población objeto del estudio, o que cuando se terminase de realizar la lista no tendría sentido la realización del estudio.

El principal inconveniente que tiene es que si los conglomerados no son homogéneos entre sí, la muestra final puede no ser representativa de la población.

Suponiendo que los conglomerados sean tan heterogéneos como la población, en relación a las variables estudiadas, y que entre sí sean homogéneos, para obtener una muestra bastará con seleccionar algunos conglomerados. En este caso se habla de muestreo por conglomerados de una etapa.

El muestreo por conglomerados tiene la ventaja de simplificar la recogida de las informaciones muestrales.

5. Muestreo aleatorio mixto

Cuando la población es compleja, cualquiera de los métodos descritos puede ser difícil de aplicar, en estos casos se aplica un muestreo mixto que combina dos o más de los anteriores sobre distintas unidades de la encuesta.

MUESTREO NO PROBABILÍSTICO

Es aquel en el que la persona que selecciona la muestra es quien procura que sea representativa, dependiendo de su intención u opinión, siendo por tanto la representatividad subjetiva.

1. Muestreo por cuotas

Es la técnica más difundida sobre todo en estudios de mercado y sondeos de opinión. En primer lugar es necesario dividir la población de referencia en varios estratos definidos por algunas variables de distribución conocida (como el género o la edad). Posteriormente se calcula el peso proporcional de cada estrato, es decir, la parte proporcional de población que representan. Finalmente se multiplica cada peso por el tamaño de n de la muestra para determinar la cuota precisa en cada estrato. Se diferencia del muestreo estratificado en que una vez determinada la cuota, el investigador es libre de elegir a los sujetos de la muestra dentro de cada estrato.

2. Muestreo subjetivo por decisión razonada

En este caso las unidades de la muestra se eligen en función de algunas de sus características de manera racional y no casual. Una variante de esta técnica es el *muestreo compensado o equilibrado*, en el que se seleccionan las unidades de tal forma que la media de la muestra para determinadas variables se acerque a la media de la población.

3. Muestreo bola de nieve

Se localiza a algunos individuos, los cuales conducen a otros, y estos a otros, y así hasta conseguir una muestra suficiente. Este tipo se emplea muy frecuentemente cuando se hacen estudios con poblaciones "marginales", delincuentes, sectas, determinados tipos de enfermos, etc.

PRESENTACIÓN TABULAR DE DATOS

TABLA DE DATOS NO AGRUPADOS

Dados los siguientes datos obtenidos de un ensayo:

45	50	50	62	60	52	80
63	65	64	47	67	72	70
73	49	54	60	64	61	79
52	62	40	64	61	65	81
69	60	60	70	43	87	43
59	46	57	54	77	60	53
68	58	80	54	64	61	60
90	51	75	59			

Se realiza la confección de una **tabla de datos no agrupados** de la siguiente manera:

x	f	x	f
40	1	63	1
43	2	64	4
45	2	65	2
46	1	67	1
47	1	68	1
49	1	69	1
50	2	70	2
51	1	72	1
52	2	73	1
53	1	75	1
54	3	77	1
57	1	79	1
58	1	80	2
59	2	81	1
60	6	87	1
61	3	90	1
62	2		

TABLA DE DATOS AGRUPADOS

Si se reúnen grandes cantidades de datos sueltos es útil distribuirlos en categorías o *clases* y determinar el número de datos que pertenecen a cada categoría, a lo que se llama *frecuencia de clase*. Las razones por las que se elaboran este tipo de agrupación de datos son por economía, practicidad, y baja frecuencia de algunos puntajes.

A los datos así organizados y reunidos en clases se les llama datos agrupados. Aunque el proceso de agrupamiento generalmente quita detalles originales de los datos, es muy ventajoso pues proporciona una visión amplia y clara, además de que se obtienen relaciones evidentes.

Para elaborar las tablas de datos agrupados, se debe seguir un procedimiento preciso:

- **Toma de datos.** Es la obtención de una colección de datos por medio de encuestas, preguntas, sondeos, ensayos, etc. que no han sido ordenados numéricamente, dicha información puede ser extraída del total de la población (análisis poblacional) o de una muestra (análisis muestral).

- **Ordenación de datos.** Es una colocación de los datos numéricos tomados en orden creciente o decreciente de magnitud. La diferencia entre el mayor y el menor de los números se llama rango o recorrido de datos.

- **Cálculo de tamaño de clase.** Para calcular el tamaño de clase es necesario calcular primeramente el número de clases utilizando la regla de Sturgess y después se obtiene el tamaño de clase dividiendo el rango entre el número de clases.

Ejemplo

Continuamos trabajando con los datos brindados más arriba:

- Número de datos : 53
- Valor máximo : 90
- Valor mínimo : 40

Determinando recorrido

Recorrido **=** valor máximo – valor mínimo

Recorrido = 90 – 40 = 50

Determinando el número de clases (o intervalos)

Se emplea la fórmula de Sturgess:

$$K = 1 + 3{,}3 \log N$$

Donde:

K : Número de clases
N : Número de datos

Si se obtiene un número decimal, éste se redondea al número entero inmediato superior.

Número de clases = $1 + 3{,}3 \log 53$ = 6,69 ≈ 7 clases

Definimos el intervalo de clase (c)

Por tratarse de datos numéricos enteros, se emplea la siguiente fórmula:

$$c = \frac{\text{Recorrido} + 1}{K}$$

Este resultado se redondea al decimal o entero inmediato superior, de acuerdo a los datos que se manejan.

Intervalo de clase $= \frac{50 + 1}{7} = 7{,}28 = 8$

Se halla el nuevo recorrido

Recorrido = Número de clase · Intervalo de clase

Recorrido = 8 · 7 = 56 Exceso 56 – 50 = 6

El exceso se reparte entre el valor mínimo y el valor máximo. En la tabla:

- Valor mínimo = 40 – 3 = 37
- Valor máximo = 90 + 3 = 93

Por último, confeccionamos la tabla de datos agrupados:

CLASES	f
37 – 45	3
45 – 53	9
53 – 61	14
61 – 69	14
69 – 77	6
77 – 85	5
85 – 93	2

Otras maneras de agrupar los datos son las siguientes:

CLASES	f
37 – 44	3
45 – 52	9
53 – 60	14
61 – 68	14
69 – 76	6
77 – 84	5
85 – 93	2

CLASES	f
36,5 – 44,5	3
44,5 – 52,5	9
52,5 – 60,5	14
60,5 – 68,5	14
68,5 – 76,5	6
76,5 – 84,5	5
84,5 – 92,5	2

CLASES	f
37 – 44,9	3
45 – 52,9	9
53 – 60,9	14
61 – 68,9	14
69 – 76,9	6
77 – 84,9	5
85 – 93	2

FRECUENCIA

Es el número de veces que un dato se presenta en un conjunto de observaciones. La frecuencia se clasifica en *absoluta* y *relativa*.

1. **Frecuencia absoluta (f)**

   Es el número de datos que caen dentro de cada intervalo de clase.

2. **Frecuencia relativa (fr)**

   Es el cociente de dividir la frecuencia de cada clase entre la sumatoria de las frecuencias (o número total de datos).

$$fr = \frac{f}{\sum f}$$

2.1 Frecuencia relativa porcentual (% fr)

Es la frecuencia relativa expresada en porcentaje.

$$\% fr = \frac{f}{\sum f} \cdot 100$$

Clases	f	fr	% fr
10,5 – 11,5	4	0,0869	8,69
11,5 – 12,5	8	0,1739	17,39
12,5 – 13,5	17	0,3696	36,96
13,5 – 14,5	12	0,2609	26,09
14,5 – 15,5	5	0,1087	10,87
	46	1	100

FRECUENCIAS ACUMULADAS

Existen dos tipos de frecuencia acumulada, la ascendente y la descendente.

1. **Frecuencia acumulada ascendente (fac↑)**

   Es la suma de todas las frecuencias de las clases anteriores (las de valores más bajos) más la de la clase en referencia.

2. **Frecuencia acumulada descendente (fac↓)**

   Es la suma de todas las frecuencias de las clases posteriores (de valores más altos) más la de la clase en referencia.

Clases	f	fr	% fr	fac	
				↑	↓
10,5 – 11,5	4	0,0869	8,69	4	46
11,5 – 12,5	8	0,1739	17,39	12	42
12,5 – 13,5	17	0,3696	36,96	29	34
13,5 – 14,5	12	0,2609	26,09	41	17
14,5 – 15,5	5	0,1087	10,87	46	5
	46	1	100		

La frecuencia acumulada también puede ser expresada como porcentaje, tomando el nombre de *frecuencia acumulada porcentual* **(% fac)**

Clases	f	fr	% fr	fac		% fac	
				↑	↓	↑	↓
10,5 – 11,5	4	0,0869	8,69	4	46	8,69	100
11,5 – 12,5	8	0,1739	17,39	12	42	26,08	91,31
12,5 – 13,5	17	0,3696	36,96	29	34	63,04	73,92
13,5 – 14,5	12	0,2609	26,09	41	17	89,13	36,96
14,5 – 15,5	5	0,1087	10,87	46	5	100	10,87
	46	1	100				

¿Cómo se interpreta una distribución de datos observando las frecuencias de las clases?

Clases	f	fr	% fr	fac		% fac	
				↑	↓	↑	↓
10,5 – 11,5	4	0,0869	8,69	4	46	8,69	100
11,5 – 12,5	8	0,1739	17,39	12	42	26,08	91,31
12,5 – 13,5	17	0,3696	36,96	29	34	63,04	73,92
13,5 – 14,5	12	0,2609	26,09	41	17	89,13	36,96
14,5 – 15,5	5	0,1087	10,87	46	5	100	10,87
	46	1	100				

Observando la 1º clase:

El 8,69% de los datos tiene un valor igual o mayor que 10,5 pero menor que 11,5 (% fr y % fac↑)

El 100% de los datos tiene un valor igual o mayor que 10,5 (% fac↓)

Observando la 2º clase:

El 17,39% de los datos tiene un valor igual o mayor que 11,5 pero menor que 12,5 (% fr)

El 26,08% de los datos tiene un valor menor que 12,5 (% fac↑)

El 91,31% de los datos tiene un valor igual o mayor que 11,5 (% fac↓)

Observando la 3º clase:

El 36,96% de los datos tiene un valor igual o mayor que 12,5 pero menor que 13,5 (% fr)

El 63,04% de los datos tiene un valor menor que 13,5 (% fac↑)

El 73,92% de los datos tiene un valor igual o mayor que 12,5 (% fac↓)

Observando la 4º clase:

El 26,09% de los datos tiene un valor igual o mayor que 13,5 pero menor que 14,5 (% fr)

El 89,13% de los datos tiene un valor menor que 14,5 (% fac↑)

El 36,96% de los datos tiene un valor igual o mayor que 13,5 (% fac↓)

Observando la 5º clase:

El 10,87% de los datos tiene un valor igual o mayor que 14,5 pero menor que 15,5 (% fr y % fac↓)

El 100% de los datos tiene un valor menor que 15,5 (% fac↑)

PRÁCTICA

De una población de 200 alumnos se toma como variable su edad en años, obteniéndose la siguiente tabla de datos agrupados:

Edad (años)	**f**	
16 – 17	10	
17 – 18	35	
18 – 19	95	
19 – 20	45	
20 – 21	15	

Responde:

1. ¿Qué porcentaje de alumnos tiene una edad igual o mayor a 17 años?
2. Si llegara un alumno nuevo de 19 años y compara su edad con la del grupo, ¿cómo expresar la relación de su edad frente a la de los 200?

LÍMITES DE CLASE

Representan el tamaño de cada clase. El límite inferior de la primera clase toma el valor del dato menor de la colección de datos, para obtener el límite inferior de la clase siguiente, se suma al límite inferior de la clase anterior el intervalo de clase.

LÍMITES REALES DE CLASE

a) **Límite Real Inferior.** Se obtiene sumando el Límite Superior de la clase anterior mas el Límite Inferior de la misma clase dividido entre dos

b) **Límite Real Superior.** Se obtiene sumando el Límite Inferior de la clase siguiente mas el Límite Superior de la misma clase dividido entre dos.

MARCA DE CLASE

Es el punto medio de la clase y se obtiene sumando el LRI y el LRS de cada clase y dividiéndolo entre dos. Generalmente se denota como *X*.

Clases	f	Límite real		X	fr	% fr	fac		% fac	
		Inf	Sup				↑	↓	↑	↓
31 – 40	4	30,5	40,5	35,5	0,08	8	4	50	8	8
41 – 50	7	40,5	50,5	45,5	0,14	14	11	46	22	92
51 – 60	9	50,5	60,5	55,5	0,18	18	20	39	40	78
61 – 70	10	60,5	70,5	65,5	0,2	20	30	30	60	60
71 – 80	10	70,5	80,5	75,5	0,2	20	40	20	80	40
81 – 90	6	80,5	90,5	85,5	0,12	12	46	10	92	20
91 – 100	4	90,5	100,5	95,5	0,08	8	50	4	100	8
Σ	50				1	100				

GRÁFICOS ESTADÍSTICOS

DIAGRAMA DE BARRAS

Se utiliza para frecuencias absolutas o relativas, acumuladas o no, de una **variable discreta**. En el eje de abscisas, situaremos los diferentes valores de la variable; y en el eje de ordenadas, la frecuencia. Levantaremos barras o columnas de altura correspondiente a la frecuencia dada.

Ejemplo:

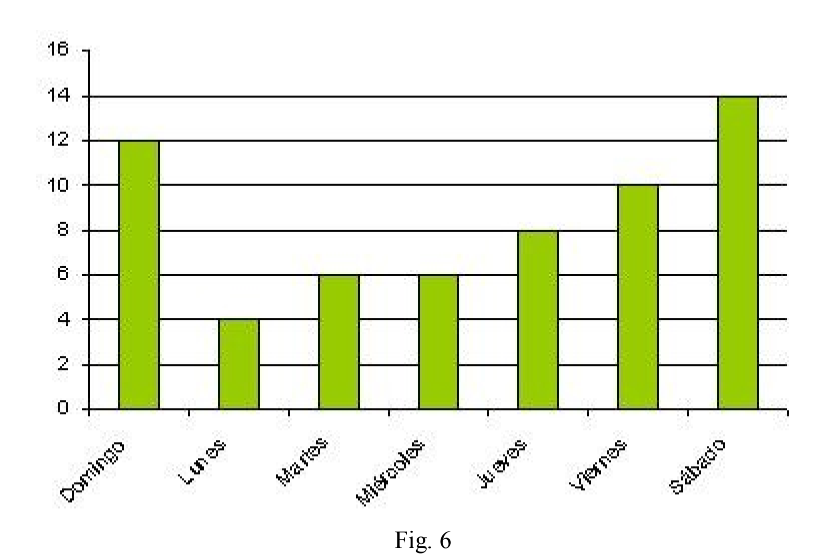


Fig. 6

HISTOGRAMA

Un *histograma* o *histograma de frecuencias* se utiliza cuando se estudia una variable *continua*, consiste en un conjunto de rectángulos que tienen:

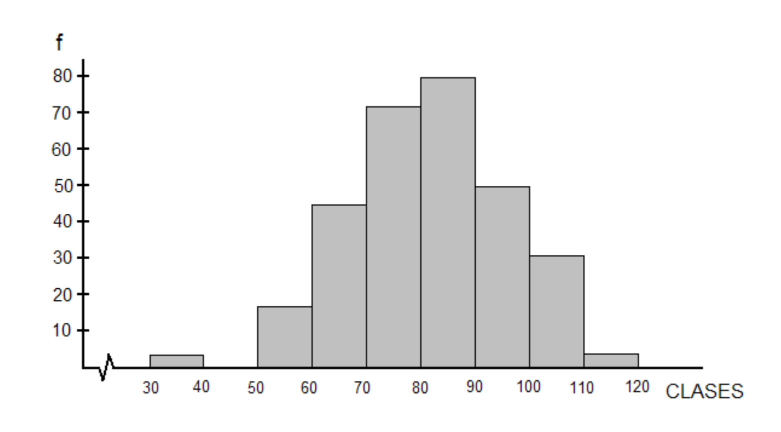
a) Sus bases en el eje de las abscisas (horizontal), sus centros en las marcas de clase y longitudes iguales a los tamaños de los intervalos de clase.

b) Áreas proporcionales a las frecuencias de clase.

Si todos los intervalos de clase son del mismo tamaño, las alturas de los rectángulos son proporcionales a las frecuencias de clase, entonces se acostumbra tomar las alturas numéricamente iguales a las frecuencias de clase. Si los intervalos de clase no son todos del mismo tamaño, hay que ajustar las alturas.

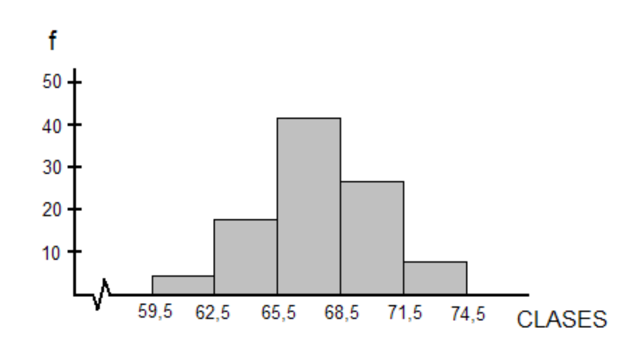
Ejemplo 1

CLASES	f
30 – 40	3
40 – 50	0
50 – 60	17
60 – 70	45
70 – 80	72
80 – 90	80
90 – 100	50
100 -110	31
110 – 120	4
	302



Ejemplo 2

CLASES	fi	LRI	LRS
60 – 62	5	59,5	62,5
63 – 65	18	62,5	65,5
66 – 68	42	65,5	68,5
69 – 71	27	68,5	71,5
72 – 74	8	71,5	74,5
	100		



PRÁCTICA

Dados los siguientes datos:

5,5	5,3	5,2	4,4	5,1
4,6	4,6	4,9	4,8	5,3
4,8	5,0	5,2	5,2	4,5
5,1	5,1	4,7	5,0	4,7
4,8	5,1	4,9	5,3	5,0
5,6	4,5	5,0	5,0	5,3
4,9	5,1	4,7	5,5	5,4

1. Confecciona la tabla para datos no agrupados
2. Confecciona la tabla para datos agrupados
3. Determina para cada clase:
   - El Límite Real Inferior *LRI* y el Límite Real Superior *LRS*
   - La marca de clase *X*
   - La frecuencia relativa *fr*
   - La frecuencia relativa porcentual *% fr*
   - La frecuencia acumulada ascendente *fac*↑ y la frecuencia acumulada descendente *fac*↓
   - El porcentaje de frecuencia acumulada ascendente *% fac*↑ y el porcentaje de frecuencia acumulada descendente *% fac*↓
4. Realiza la interpretación de los datos agrupados, empleando las frecuencias acumuladas porcentuales.
5. Grafica el histograma de frecuencias

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

Son aquellas medidas que pueden considerarse como la representación de la distribución de frecuencias. Tienden a sintetizar o servir de una descripción promedio del conjunto de datos.

Las medidas de tendencia central que se utilizan en el control ensayístico son:

- Media aritmética
- Media armónica
- Mediana
- Moda
- Media cuadrática
- Media geométrica

MEDIA ARITMÉTICA (x)

Para datos no agrupados

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Ejemplo: Hallar la media aritmética de los siguientes valores:

6 – 5 – 4 – 6 – 3 – 7 – 3 – 4 – 5 – 6

$$\bar{x} = \frac{6+5+4+6+3+7+3+4+5+6}{10} = 4{,}9$$

Para datos agrupados

a) Método general

$$\bar{x} = \frac{\sum fx}{\sum f}$$

Ejemplo 1

CLASE	f	x	fx
20 → 30	6	25	150
30 → 40	15	35	525
40 → 50	38	45	1710
50 → 60	24	55	1320
60 → 70	3	65	195
	86		3900

$$\bar{x} = \frac{3900}{86} = 45{,}35$$

Ejemplo 2

CLASE	f	LR		x	fx
		I	S		
60 – 62	5	59,5	62,5	61	305
63 – 65	18	62,5	65,5	64	1152
66 – 68	42	65,5	68,5	67	2814
69 – 71	27	68,5	71,5	70	1890
72 – 74	8	71,5	74,5	73	584
	100				6745

$$\bar{x} = \frac{6745}{100} = 67{,}45$$

b) Método clave (media supuesta)

Este método es efectivo **sólo cuando los intervalos de clase son iguales en todas las clases**.

Se emplea la fórmula:

$$\bar{x} = A + \left(\frac{\sum fd}{\sum f} \right) \cdot c$$

Donde:

A : Media supuesta
d : Desviación unitaria
c : Intervalo de clase

Ejemplo 1

CLASE	f	x	d	fd
20 → 30	6	25	-2	-12
30 → 40	15	35	-1	-15
40 → 50	38	< **45** >	0	0
50 → 60	24	55	1	24
60 → 70	3	65	2	6
	86			3

$$\bar{x} = 45 + \left(\frac{3}{86} \right) \cdot 10 = 45{,}35$$

Ejemplo 2

CLASE	f	LR		x	d	fd
		I	S			
60 – 62	5	59,5	62,5	61	-2	-10
63 – 65	18	62,5	65,5	64	-1	-18
66 – 68	42	65,5	68,5	**< 67 >**	0	0
69 – 71	27	68,5	71,5	70	1	27
72 – 74	8	71,5	74,5	73	2	16
	100					15

$$\bar{x} = 67 + \left(\frac{15}{100} \right) \cdot 3 = 67{,}45$$

MEDIA ARMÓNICA (H)

Se emplea la media armónica para obtener un valor representativo de un conjunto de datos expresados en forma de tasa (tantas unidades de un tipo por cada unidad de otra especie).

Se define como la recíproca de la media aritmética de los recíprocos de las variables.

Para datos no agrupados

$$H = \frac{n}{\sum \frac{1}{x}}$$

Ejemplo: Hallar la media armónica de los siguientes valores:

16 – 11 -13 – 14 – 18 – 14 – 11 – 15 – 12 – 16 – 14 - 14

$$H = \frac{12}{\frac{1}{16}+\frac{1}{11}+\frac{1}{13}+\frac{1}{14}+\frac{1}{18}+\frac{1}{14}+\frac{1}{11}+\frac{1}{15}+\frac{1}{12}+\frac{1}{16}+\frac{1}{14}+\frac{1}{14}} = \frac{12}{0,875} = 13,71$$

Para datos agrupados

$$H = \frac{\sum f}{\sum \frac{f}{x}}$$

CLASE	f	x	f/x
67 – 70	2	68,5	0,0292
70 – 73	4	71,5	0,0559
73 – 76	8	74,5	0,1074
76 – 79	5	77,5	0,0645
79 – 82	3	80,5	0,0372
	22		0,2942

Aplicando la fórmula:

$$H = \frac{22}{0,2942} = 74,78$$

La *media armónica* resulta poco influida por la existencia de valores mucho más grandes que el conjunto de los otros, siendo en cambio sensible a valores mucho más pequeños que el conjunto.

MEDIANA (x)

Es otra medida de tendencia central, y es el número que se encuentra en el centro de una serie de observaciones que están dispuestos según el orden de su magnitud.

Para datos no agrupados

Por ejemplo:

7 – 14 – 11 – 2 – 17 – 1 – 22 – 13 – 9

Colocando estos números en orden de su magnitud se tendría:

1 – 2 – 7 – 9 – 11 – 13 – 14 – 17 – 22

La mediana será el número 11 por encontrarse en el centro de los números dispuestos en orden de su magnitud

Para un número impar de valores, es el valor de en medio; para un número par es el promedio de los dos medios.

Otro ejemplo:

Dados los siguientes datos: 1 1 2 2 **2 3** 4 4 5 5

El punto medio se encuentra entre los valores 2 y 3, por tanto, el valor de la mediana será 2,5.

Los valores extremos no tienen efectos importantes sobre la mediana, lo que sí ocurre con la media aritmética.

Para datos agrupados

La mediana x es el valor de clase que está a la mitad del número de frecuencias.

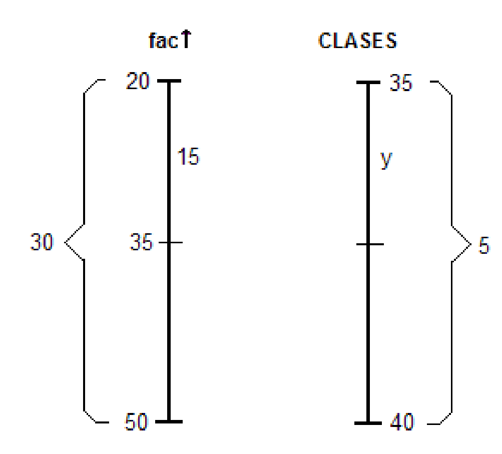
a) Método por interpolación

Pasos:

1. Localizar entre qué intervalos de clase se encuentra la mediana
2. Interpolar los datos

Ejemplo 1

CLASES	x	f	fac↑
20 – 25	22,5	4	4
25 – 30	27,5	1	5
30 – 35	32,5	15	20
35 – 40	37,5	30	50
40 – 45	42,5	12	62
45 – 50	47,5	6	68
50 – 55	52,5	2	70
		70	



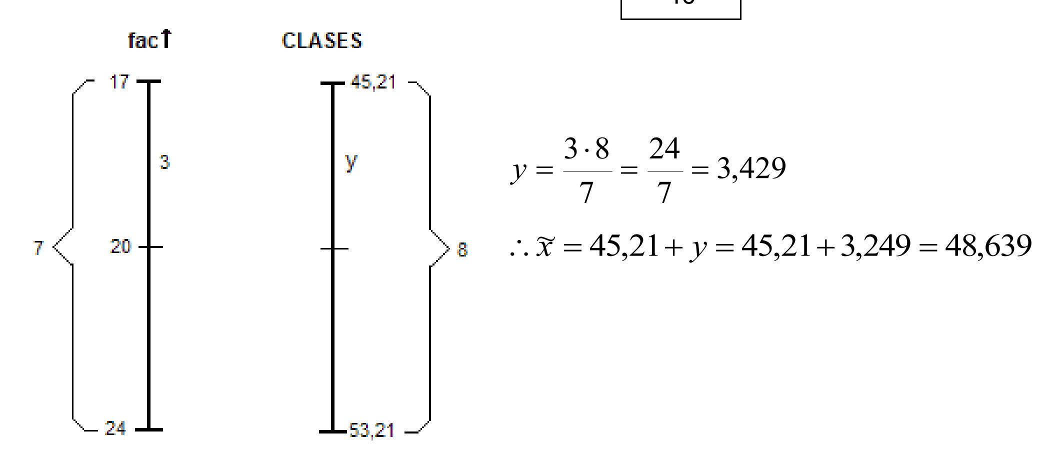
Podemos observar que el punto que divide el 50% de los datos (35 de 70) está en la clase con intervalo de 35 – 40 (hasta 35 están agrupados 20 datos y hasta 40 se registran 50).

$$y = \frac{15 \cdot 5}{30} = \frac{75}{30} = 2{,}5$$

$$\therefore \tilde{x} = 35 + y = 35 + 2{,}5 = 37{,}5$$

Ejemplo 2

CLASES	x	f	fac↑
21,20 – 29,21	25,21	5	5
29,21 – 37,21	33,21	2	7
37,21 – 45,21	41,21	10	17
45,21 – 53,21	49,21	7	24
53,21 – 61,21	57,21	12	36
61,21 – 69,21	65,21	3	39
69,21 – 77,20	73,21	1	40
		40	



$$y = \frac{3 \cdot 8}{7} = \frac{24}{7} = 3{,}429$$

$$\therefore \tilde{x} = 45{,}21 + y = 45{,}21 + 3{,}249 = 48{,}639$$

b) Método por fórmula

La mediana de una muestra de datos agrupados en una distribución de frecuencias se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\tilde{x} = LRI_M + \frac{\left(\frac{\sum f}{2} - fac_i \right)}{f_M} \cdot c$$

Donde: LRI_M : Límite Real Inferior de la clase que contiene a la mediana
$\sum f$: Número total de frecuencias
fac_i : Frecuencia acumulada que precede a la clase de la mediana
f_M : Frecuencia de clase de la mediana
c : Intervalo de clase.

CLASE	f	fac↑	LRI	X
60 – 62	5	5	59,5	61
63 – 65	18	23	62,5	64
66 – 68	42	65	65,5	67
69 – 71	27	92	68,5	70
72 - 74	8	100	71,5	73
	100			

Observamos que la clase que contiene el valor que divide el número de frecuencias (100) en dos partes iguales tiene el intervalo 66 – 68 (hasta 65,5 se tienen 23 datos y hasta 68,5 hay 65), luego:

$$\tilde{x} = 65{,}5 + \frac{\left(\frac{100}{2} - 23\right)}{42} \cdot 3 = 65{,}5 + 1{,}2587 = 66{,}7857$$

Ejemplo 1

CLASES	x	f	fac↑
20 – 25	22,5	4	4
25 – 30	27,5	1	5
30 – 35	32,5	15	20
35 – 40	37,5	30	50
40 – 45	42,5	12	62
45 – 50	47,5	6	68
50 – 55	52,5	2	70
		70	

$$\tilde{x} = 35 + \frac{\left(\frac{70}{2} - 20\right)}{30} \cdot 5 = 35 + 2{,}5 = 37{,}5$$

Ejemplo 2

CLASES	x	f	fac↑
21,20 – 29,21	25,21	5	5
29,21 – 37,21	33,21	2	7
37,21 – 45,21	41,21	10	17
45,21 – 53,21	49,21	7	24
53,21 – 61,21	57,21	12	36
61,21 – 69,21	65,21	3	39
69,21 – 77,20	73,21	1	40
		40	

$$\tilde{x} = 45{,}21 + \frac{\left(\frac{40}{2} - 17\right)}{7} \cdot 8 = 45{,}21 + 3{,}429 = 48{,}639$$

MODA ($\hat{x}$)

En un conjunto de datos **no agrupados**, la moda es el valor que más se repite en una distribución, se determina por observación por ejemplo:

16 – 11 -13 – 14 – 18 – 14 – 11 – 15 – 12 – 16 – 14 - 14

En este pequeño grupo de datos, la moda será el número 14.

Cuando dos valores ocurren una misma cantidad de veces, la distribución se llama *bimodal*, esto quiere decir que se tienen dos modas, si existen más de dos modas se habla de una distribución *multimodal*. Si todas las variables tienen la misma frecuencia diremos que no hay moda.

La moda, en una distribución de **datos agrupados**, es el valor que se encuentra en la clase que tiene el mayor número de frecuencias.

Se emplea la fórmula:

$$\hat{x} = LRI_M + \left(\frac{\Delta_1}{\Delta_1 + \Delta_2}\right) \cdot c$$

Donde:

LRI_M : Límite Real Inferior de la clase que contiene la moda

Δ_1 : Diferencia de la frecuencia modal con la frecuencia de la clase inferior inmediata

Δ_2 : Diferencia de la frecuencia modal con la frecuencia de la clase superior inmediata

c : Intervalo de clase.

Ejemplo:

CLASE	f
67 – 70	2
70 – 73	4
73 – 76	8
76 – 79	5
79 – 82	3

La moda se encuentra en la clase modal 73 – 76 (clase con la frecuencia más alta)

Aplicando la fórmula:

$$\hat{x} = 73 + \left(\frac{4}{4+3} \right) \cdot 3 = 73 + 1{,}714 = 74{,}714$$

MEDIA CUADRÁTICA (M.C.)

Algunas veces la variable toma valores positivos y negativos (en los errores de medida, por ejemplo), en tal caso se puede obtener un promedio que no recoja los efectos del signo. Este inconveniente se supera con la media cuadrática.

Al elevar al cuadrado todas las observaciones, desaparecen los valores negativos, después se obtiene la media aritmética y luego se extrae la raíz cuadrada de dicha media para volver a la unidad de medida original.

$$M.C. = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n}}$$

A manera de demostración, calcularemos la M.C. para cinco valores no agrupados:

5 – 14 – 3,4 – 8,1 – 6

$$M.C. = \sqrt{\frac{5^2 + 14^2 + 3{,}4^2 + 8{,}1^2 + 6^2}{5}} = \sqrt{\frac{25 + 196 + 11{,}56 + 65{,}61 + 36}{5}}$$

$$M.C. = \sqrt{\frac{334{,}17}{5}} = \sqrt{66{,}834} = 8{,}175$$

MEDIA GEOMÉTRICA (G)

Es la raíz *n-ésima* del producto de *n* valores de la variable. Se emplea para promediar intereses e índices.

$$G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n}$$

Por ejemplo, calcularemos la M.C. para tres valores no agrupados:

7,9 – 2 – 18,3

$$G = \sqrt[3]{7{,}9 \cdot 2 \cdot 18{,}3} = \sqrt[3]{289{,}14} = 6{,}612$$

Observación curiosa: En el caso de que todas las variables (datos) sean iguales entre sí, los valores de todas las medidas de tendencia central **son los mismos**.

Por ejemplo, trabajaremos con estos tres datos: 23,9 – 23,9 – 23,9.

$$\bar{x} = \frac{23{,}9 + 23{,}9 + 23{,}9}{3} = \frac{3 \cdot 23{,}9}{3} = 23{,}9$$

$$H = \frac{3}{\frac{1}{23{,}9} + \frac{1}{23{,}9} + \frac{1}{23{,}9}} = \frac{3}{\frac{3}{23{,}9}} = \frac{3 \cdot 23{,}9}{3} = 23{,}9$$

23,9 – 23,9 – 23,9 → $\tilde{x}$ = 23,9 (pues el valor 23,9 se encuentra en medio de los tres datos)

23,9 – 23,9 – 23,9 → $\hat{x}$ = 23,9 (pues el valor 23,9 es el que se repite todas las veces)

$$M.C. = \sqrt{\frac{23{,}9^2 + 23{,}9^2 + 23{,}9^2}{3}} = \sqrt{\frac{3 \cdot \left(23{,}9^2\right)}{3}} = \sqrt{23{,}9^2} = 23{,}9$$

$$G = \sqrt[3]{23{,}9 \cdot 23{,}9 \cdot 23{,}9} = \sqrt[3]{23{,}9^3} = 23{,}9$$

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Un conjunto estadístico o muestra de una determinada población no queda enteramente definido si solo se conocen sus medidas centrales. Las distribuciones de frecuencias quedan perfectamente determinadas cuando a la media aritmética (parámetro de posición) se le añade una *medida de dispersión* para conocer la variabilidad de un conjunto de características de calidad con respecto a su eje central o parámetro de posición.

Las principales medidas de dispersión empleadas en la mayoría de las distribuciones de frecuencias son:

- Rango
- Desviación media DM
- Desviación estándar σ ó s
- Coeficiente de variación CV

RANGO R

Es el parámetro más sencillo de las medidas de dispersión y se define como la diferencia existente entre los valores extremos de la variable de una característica de calidad. También se le conoce como amplitud o recorrido.

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Si por ejemplo, se realiza el ensayo de dos hilos A y B y se ha determinado su resistencia a la tracción expresado en gramos, dando los siguientes resultados:

	Hilo A	Hilo B
	120	108
	118	106
	124	140
	122	124
	116	122
$\overline{X}$	120	120
R	8	34

Si bien ambos hilos tienen el mismo valor central (media aritmética), podemos notar que el hilo B tiene mayor rango que el hilo A, este hecho evidencia que el tejido B tiene mayor dispersión de datos.

DESVIACIÓN MEDIA $D.M.$

Viene a ser la sumatoria de los productos de los valores absolutos de las desviaciones por las frecuencias, entre la sumatoria de frecuencias.

$$D.M. = \frac{\sum f\,|X - \overline{X}|}{\sum f}$$

Ejemplo:

CLASES	f	X	fX	$X - \overline{X}$	$\|X - \overline{X}\|$	$f\,\|X - \overline{X}\|$
10,5 – 11,5	4	11	44	–2,13	2,13	8,52
11,5 – 12,5	8	12	96	–1,13	1,13	9,04
12,5 – 13,5	17	13	221	0,13	0,13	2,21
13,5 – 14,5	12	14	168	0,87	0,87	10,44
14,5 – 15,5	5	15	75	1,87	1,87	9,35
	46		604			39,56

$$\overline{X} = \frac{604}{46} = 13{,}13$$

$$D.M. = \frac{39{,}56}{46} = 0{,}86$$

DESVIACIÓN ESTÁNDAR σ

La *desviación estándar* (también llamada *desviación típica*) es la medida de dispersión más importante en el análisis estadístico de la distribución de frecuencias, por cuanto proporciona una información con mayor certeza y seguridad acerca de la dispersión de una población o muestra.

El *rango* considera únicamente los valores extremos de una serie, haciendo a un lado los demás, por lo tanto no se aprovecha toda la información que se pueda disponer para el cálculo de la dispersión; en cambio, la *desviación estándar* da una imagen mucho más efectiva de todas las lecturas de la serie y cualquier lectura fuera de lo normal no afectará en alto grado su valor significativo. En consecuencia se puede generalizar que la d*esviación estándar* es aplicable a muestras de cualquier tamaño.

La desviación estándar se define como el error normal de ensayo desde su valor central ($\overline{X}$).

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \overline{X})^2 + (X_2 - \overline{X})^2 + (X_3 - \overline{X})^2 + \ldots + (X_n - \overline{X})^2}{n}}$$

Aplicación de la *desviación estándar*

Sabemos que la *desviación estándar* σ es el error normal de los ensayos desde el valor medio de una determinada población, de allí que en un conjunto de datos con un pequeño valor *sigma* (σ), la variabilidad de estos datos con respecto a su valor central será también pequeña que en un conjunto de datos con un valor *sigma* grande. En otras palabras, cuanto menor sea el valor de la *desviación estándar*, significa que el producto será de mejor calidad, pues será más regular.

Conociendo la *desviación estándar* y la *media aritmética* de la distribución de frecuencias de la característica de calidad, se puede calcular el porcentaje del área de la curva normal (curva de probabilidades) de la distribución de frecuencias dentro de ciertos límites de confiabilidad, tal como se indica en la siguiente tabla:

Porcentaje del área de la curva de probabilidades

Dentro de los límites	$\bar{x} \pm 1\sigma$	$\bar{x} \pm 1{,}64\sigma$	$\bar{x} \pm 1{,}96\sigma$	$\bar{x} \pm 2\sigma$	$\bar{x} \pm 2{,}58\sigma$	$\bar{x} \pm 3\sigma$
Área de probabilidades	68,27%	89,9%	95%	95,45%	99,01%	99,73%

Si se toma al azar una muestra de un colectivo que corresponde a la ley de *Gauss*, teniendo como límites $\bar{x} \pm 1\sigma$, significa que hay un 68,27% de probabilidades que los valores de una variable no se apartan del eje central en un sentido u otro (más o menos una *desviación estándar*).

Así pues $\bar{x} \pm 3\sigma$ abarcará prácticamente toda la curva de la distribución normal tal como se puede apreciar en el siguiente gráfico:

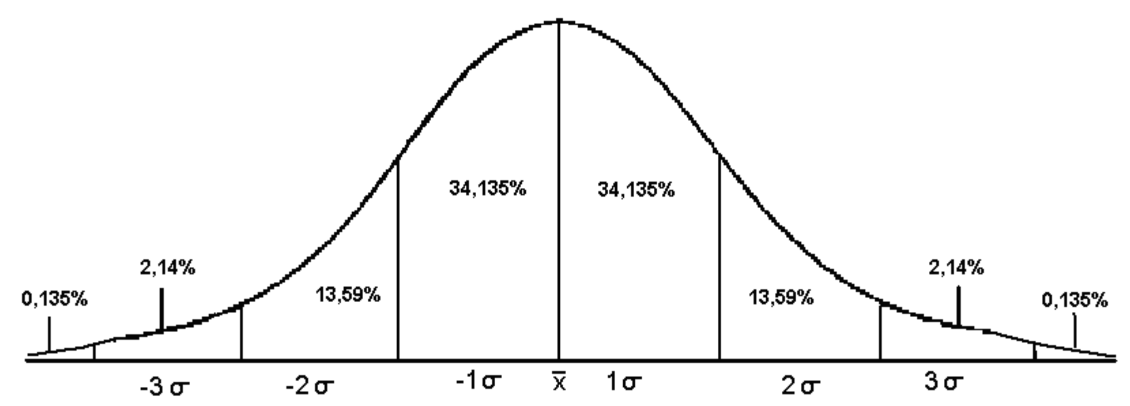


Fig. 7 Distribución normal de frecuencias, llamada también distribución de Gauss.

Por ejemplo, si se realiza el ensayo de finura del algodón:

Promedio de la finura micronaire $\bar{x}$: 5,6

Desviación estándar σ : 0,12

Se tiene que:

- El 68,27% de los valores está entre 5,6 ± 1(0,12) o entre 5,48 y 5,72 micronaire
- El 95,45% de los valores está entre 5,6 ± 2(0,12) o entre 5,36 y 5,84 micronaire
- El 99,73% de los valores está entre 5,6 ± 3(0,12) o entre 5,24 y 5,96 micronaire.

Las medidas de dispersión antes vistas vienen influidas por la unidad en que se mide la variable, esto significa que si cambiamos la unidad de medida, los valores de estos parámetros se ven a su vez modificados. Precisamos, por lo tanto, de una medida *escalar*, es decir, que no lleve asociada ninguna unidad de medida.

Cálculo de la desviación estándar para datos agrupados

a) Método general

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(X-\overline{X})^2}{\sum f}}$$

Para ensayos muestrales, se aconseja emplear la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(X-\overline{X})^2}{\sum f - 1}}$$

b) Por medio de un origen arbitrario (Método clave)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum fd^2}{\sum f} - \left(\frac{\sum fd}{\sum f}\right)^2} \cdot c$$

Ejemplo:

Por método general

CLASES	f	X	fX	$X-\overline{X}$	$(X-\overline{X})^2$	$f(X-\overline{X})^2$
6 – 8	2	7	14	-5,792	33,5473	67,0945
8 – 10	17	9	153	-3,792	14,3793	244,4475
10 – 12	29	11	319	-1,792	3,2113	93,1267
12 – 14	41	13	533	0,208	0,0433	1,7738
14 – 16	19	15	285	2,208	4,8753	92,63
16 – 18	14	17	238	4,208	17,7073	247,9017
18 – 20	3	19	57	6,208	38,5393	115,6178
	125		1599			862,592

$$\overline{X} = \frac{1599}{125} = 12{,}792$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{862{,}592}{125}} = \sqrt{6{,}9007} = 2{,}6269$$

Por medio de un origen arbitrario

CLASES	f	X	d	d^2	fd	fd^2
6 – 8	2	7	-3	9	-6	18
8 – 10	17	9	-2	4	-34	68
10 – 12	29	11	-1	1	-29	29
12 – 14	41	**< 13 >**	0	0	0	0
14 – 16	19	15	1	1	19	19
16 – 18	14	17	2	4	28	56
18 – 20	3	19	3	9	9	27
	125				-13	217

$$\overline{X} = 13 + \left(\frac{-13}{125}\right) \cdot 2 = 13 - 0{,}208 = 12{,}792$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{217}{125} - \left(\frac{-13}{125}\right)^2} \cdot 2 = \sqrt{1{,}736 - 0{,}010816} \cdot 2 = \sqrt{1{,}7252} \cdot 2 = 1{,}3135 \cdot 2 = 2{,}6269$$

COEFICIENTE DE VARIACIÓN CV

Las medidas de dispersión antes descritas se expresan en las unidades originales de medida, tales como metros, kilogramos, etc. Se pueden utilizar para comparar la variación de dos distribuciones siempre que las variables se expresen en las mismas unidades de medida y sean aproximadamente del mismo tamaño promedio.

Sin embargo, a veces es necesario comparar dos conjuntos de datos expresados en unidades diferentes (tales como toneladas de azúcar y metros cúbicos de kerosene). En estos casos las medidas de dispersión absoluta no son comparables y deben utilizarse una medida de dispersión relativa. Ésta es útil para la comparación en términos relativos del grado de concentración en torno a la media aritmética de dos distribuciones distintas.

A esta medida de dispersión se le conoce como coeficiente de variación (CV) porque *coeficiente* significa una razón o un número puro independiente de la unidad de medición. Se determina por la fórmula:

$$CV = \frac{\sigma}{\overline{x}} \cdot 100$$

Ejemplo de aplicación

Una tejeduría desea adquirir hilo de algodón 40/1 Nec[1], para ello dos proveedores les envían muestras de hilos para su evaluación, uno remite 5 bobinas y el otro 12 conos.

Para obtener una buena calidad del tejido, es importante – entre otras cosas – que el hilo sea lo más regular en la densidad lineal (Nec) de bobina a bobina, por lo que se analizaron ambas muestras y se obtuvieron los siguientes resultados:

[1] Número inglés de algodón, es una expresión del grosor del hilo. Esto se explica al detalle en el tercer volumen de esta colección (III. Hilandería).

Valores de Nec para cada cono		
Muestra del proveedor A	**Muestra del proveedor B**	
41,1	39,8	39,6
38,9	40,1	39,6
40,6	39,6	39,9
38,8	39,9	38,9
39,9	39,6	40,1
	39,4	39,4

Procesando los datos, hallamos lo siguiente:

- El hilo del proveedor A tiene un Nec promedio de 39,86, con una desviación estándar (muestral) igual a 1,016 Nec.
- El hilo del proveedor B tiene un Nec promedio de 39,66, con una desviación estándar (muestral) igual a 0,337 Nec.

Si bien el hilo el proveedor A tiene un promedio más cercano a lo deseado (40), también presenta una mayor dispersión entre los Nec obtenidos, como se observa del valor de su *sigma*.

Ahora bien, para compararlas, llevaremos ambas muestras a una escala relativa porcentual, para ver el alejamiento de los Nec respecto de su media.

Hilo del proveedor A

$$CV_{Nec} = \frac{1{,}016\ Nec}{39{,}86\ Nec} \cdot 100 = 2{,}55\%$$

Hilo del proveedor B

$$CV_{Nec} = \frac{0{,}337\ Nec}{39{,}66\ Nec} \cdot 100 = 0{,}85\%$$

Según se ve, el hilo del proveedor B presenta un CV_{Nec} más bajo, esto significa menor variación del Nec de bobina a bobina, en otras palabras, es más homogéneo.

PRÁCTICA

A continuación se presentan dos distribuciones de datos agrupados, aplicando lo aprendido halla:

- Media aritmética (método general y método clave)
- Media armónica
- Mediana (método por interpolación y por fórmula)
- Moda
- Desviación media
- Desviación estándar (método general y método clave)
- Coeficiente de variación

CLASE	f	
3,0 – 3,1	3	
3,2 – 3,3	12	
3,4 – 3,5	27	
3,6 – 3,7	16	
3,8 – 3,9	2	

CLASE	f	
10,5 – 11,5	24	
11,5 – 12,5	68	
12,5 – 13,5	51	
13,5 – 14,5	33	
14,5 – 15,5	12	

DIAGRAMAS DE CONTROL

Introducción

En cualquier proceso productivo resulta conveniente conocer en todo momento hasta qué punto nuestros productos cumplen con las especificaciones preestablecidas.

Nuestros productos pueden diferir:

- en la misma pieza
- de una pieza a otra
- de un momento de producción a otro.

La idea consiste en extraer muestras de un proceso productivo que se encuentra activo y, a partir de las mismas, generar gráficos que nos permitan tanto estudiar la variabilidad del mismo como comprobar si los productos obtenidos cumplen o no con las especificaciones preestablecidas.

Concepto

Llamados Cartas de Control, Diagramas de Control o Diagramas de Shewhart (en honor a Walter A. Shewhart, considerado el padre del control estadístico de la calidad). Se les puede definir como una forma de registro de los datos a medida que éstos aparecen en función del tiempo.

Un diagrama de control es una gráfica lineal en la que se han determinado estadísticamente un límite superior (límite de control superior) y un límite inferior (límite inferior de control) a ambos lados de la media o línea central. La línea central refleja el producto del proceso.

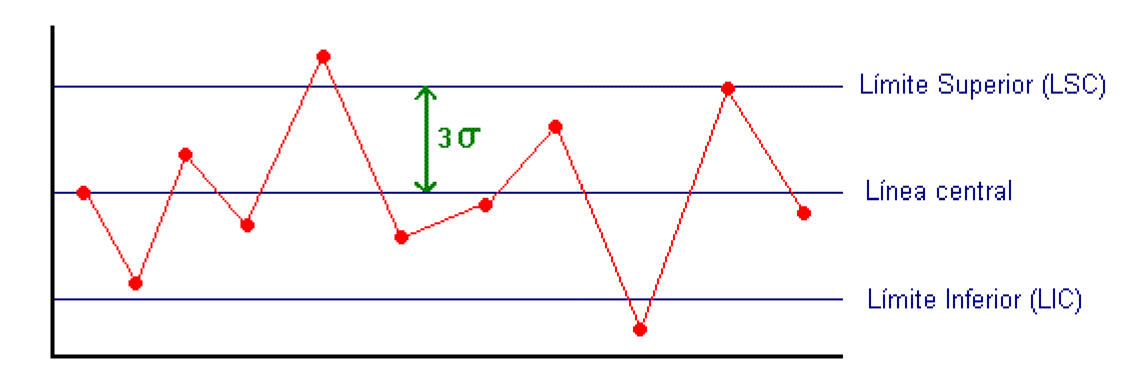


Fig. 8 Diagrama de control, se muestra la línea de promedios y los límites de control

Son muy útiles para estudiar las propiedades de los productos, los factores variables del proceso de fabricación, los costos, los errores y otros datos administrativos.

Un gráfico de Control…:

- muestra si un proceso está bajo control o no
- indica resultados que requieren una explicación
- define los límites de capacidad del sistema, los cuales previa comparación con los de especificación pueden determinar los próximos pasos en un proceso de mejora.

¿Cómo operan los diagramas de control?

Se toman muestras periódicamente durante el proceso para verificar que la media y la variabilidad del proceso no han cambiado.

¿Para qué?

Para mantener el proceso bajo estado de control estadístico.

TIPOS DE DIAGRAMAS DE CONTROL

Podemos distinguir dos grandes clases de diagramas de control:

a. **Diagrama de control por variable.** Aplicado a mediciones con variables *continuas*, es decir, es posible medir la característica de calidad a estudiar. En estos casos conviene describir la característica de calidad mediante una medida de tendencia central (usualmente la *media aritmética*) y una medida de su variabilidad (usualmente el *rango* o la *desviación estándar*).

   Pueden ser de estos tipos:

   - Diagrama de valores individuales
   - Diagrama de promedios $(\bar{x})$
   - Diagrama de rangos $(\bar{R})$
   - Diagrama de desviación estándar (σ)
   - Diagrama del coeficiente de variación $(C.V.\%)$

b. **Diagrama de control por atributos.** Son para variables *discretas*. Tienen la ventaja de sintetizar de forma rápida toda la información referida a diferentes aspectos de calidad de un producto, ya que permiten clasificar éste como aceptable o inaceptable; además, no suelen necesitar de sistemas de medición muy complejos y son más fácilmente entendibles por los no especialistas.

Son de tipo:

- Diagrama de porcentaje o fracción defectiva $(\bar{p})$
- Diagrama de número de piezas defectuosas $(n\bar{p})$
- Diagrama de número de defectos $(\bar{c})$

Los gráficos de control por variables son más "sensibles" que los gráficos de control por atributos, razón por la cual son capaces de "avisarnos" de posibles problemas de calidad incluso antes de que éstos sean ya relevantes.

LÍMITES DE CONTROL

Los límites de especificaciones técnicas impuestos por el consumidor, pueden tener alguna relación con la variación normal del producto únicamente por mera coincidencia, en cambio la variación normal se refiere al proceso en sí de la fabricación del producto dentro de ciertos límites de confiabilidad que permita la obtención de un producto vendible y lo más económico posible.

Dentro de la industria textil, el establecimiento de la estandarización de las especificaciones de calidad (preferentemente en hilandería) debe ser de primera prioridad teniendo en cuenta:

- El uso a que se destina el producto.
- Rango de la densidad lineal de los hilos.
- Materia prima (en caso del algodón, es importante considerar el grado, longitud de fibra, finura y resistencia).
- Maquinaria y equipos.
- Costos, etc.

La base del cálculo de los límites de control, son la media aritmética $(\bar{x})$ y la desviación estándar (σ) de la característica de calidad. Normalmente en los diagramas de control de procesos se aplican los niveles de significación del 5% y 1% respectivamente de probabilidad de la distribución normal o curva de probabilidades, es decir, $\bar{x} \pm 1{,}96\sigma$ y $\bar{x} \pm 2{,}58\sigma$ y como límite de acción $\bar{x} \pm 3\sigma$.

DIAGRAMA DE CONTROL POR VARIABLES

DIAGRAMA PARA VALORES INDIVIDUALES

Los diagramas para valores individuales resultan un tanto antieconómicos por cuanto toma demasiado tiempo para graficar en el diagrama cada uno de los valores individuales de cada serie de pruebas de una determinada fase del proceso de fabricación, como por ejemplo: control rutinario de la variación de masa por unidad de longitud de una cinta cardada.

DIAGRAMA PARA PROMEDIOS

En vista de los inconvenientes que presentan los valores individuales, se ha adoptado por trabajar por el método de los subgrupos (5, 6, 8, 10 especímenes por máquinas) en función al programa rutinario

de control, luego se calculan las medidas de tendencia central y dispersión para cada subgrupo, a los valores que se obtengan se calculan sus límites de control y se elaboran dos diagramas, uno para las medidas de tendencia central y otra para las medidas de dispersión, siendo las más empleadas en la industria textil los diagramas de promedios y rangos.

Para entender los diagramas de control por variables, es necesario conocer el concepto de subgrupos (o subgrupos racionales). Trabajar con subgrupos significa agrupar las mediciones que se obtienen de un proceso, de acuerdo a algún criterio. Los subgrupos se realizan agrupando las mediciones de tal modo que haya la máxima variabilidad entre subgrupos y la mínima variabilidad dentro de cada subgrupo.

Por ejemplo, si en una hilandería hay tres turnos de trabajo por día, las mediciones de cada turno podrían constituir un subgrupo.

Método para establecer los diagramas de control por variable:

- Determinar la variable a controlar (característica de calidad)
- Determinar el tamaño de la muestra (número de unidades que conforman el subgrupo). Por razones de seguridad estadística es de 4 a 6.
- Recolectar datos por medio del análisis físico o químico (depende de la variable a controlar).
- Obtener el $\bar{x}$ y R de cada subgrupo
- Obtener $\bar{\bar{x}}$ (promedio de los promedios de los subgrupos) y $\bar{R}$ (promedio de los rangos de los subgrupos)
- Proceder a los cálculos correspondientes:
  - Calcular la *desviación estándar* para datos individuales, por el método de rangos:

$$\sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

    Cuando se analiza una gran cantidad de datos, se emplea el método de rangos. Debe anotarse que esta *desviación estándar estimada* no es la misma calculada por los otros métodos, pero suficientemente válida para la estadística aplicada al control de calidad.

  - Calcular la *desviación estándar para los promedios*:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma'}{\sqrt{n}}$$

  - Determinar los Límites de Control para el gráfico de control de los promedios:

Superior	Inferior
$L.C.S.A. = \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}}$	$L.C.I.A. = \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}}$
$L.C.S. = \bar{\bar{x}} + 2\sigma_{\bar{x}}$	$L.C.I. = \bar{\bar{x}} - 2\sigma_{\bar{x}}$
$L.C.S.V. = \bar{\bar{x}} + 1\sigma_{\bar{x}}$	$L.C.I.V. = \bar{\bar{x}} - 1\sigma_{\bar{x}}$

  - Determinados los límites de control, se llevan los mismos a una hoja milimetrada, fijándose la línea central para promedios y a escala los límites superiores e inferiores.

- Iniciar el registro de resultados con el mismo tamaño de la muestra tomados periódicamente y conforme se vayan recepcionando.

VALORES INTERNACIONALES PARA CADA SUBGRUPO

Tamaño de subgrupo (n)	d_2	A_2	D_3	D_4
2	1,128	1,880	0	3,268
3	1,693	1,023	0	2,574
4	2,059	0,729	0	2,282
5	2,326	0,577	0	2,114
6	2,534	0,483	0	2,004
7	2,704	0,419	0,076	1,924
8	2,847	0,373	0,136	1,864
9	2,970	0,338	0,184	1,816
10	3,078	0,308	0,223	1,777
11	3,173	0,285	0,256	1,744
12	3,258	0,266	0,284	1,717
13	3,336	0,249	0,308	1,692
14	3,407	0,235	0,329	1,671
15	3,472	0,229	0,348	1,652

Ejemplo:

Se registran los pesos en granos, de 5 tramos de una cinta de carda (de 1 yarda cada una), para un total de 20 cardas, de la siguiente manera:

Peso en granos/yarda de cintas de carda

Carda Nº 01	Carda Nº 02	Carda Nº 03	Carda Nº 04	Carda Nº 05
56,0	53,0	53,0	48,0	55,0
57,0	55,0	55,0	48,0	57,0
56,5	55,0	54,0	48,0	54,0
56,5	55,5	55,0	49,0	54,0
56,0	53,0	54,0	53,5	57,0

Carda Nº 06	Carda Nº 07	Carda Nº 08	Carda Nº 09	Carda Nº 10
50,0	50,0	51,0	51,0	59,0
51,0	51,0	52,0	53,0	63,0
50,0	51,0	53,0	51,0	61,0
51,0	51,5	53,5	55,0	65,0
49,0	50,0	52,5	50,0	64,0

Carda Nº 11	Carda Nº 12	Carda Nº 13	Carda Nº 14	Carda Nº 15
50,0	51,5	50,0	54,0	51,0
54,0	51,5	51,0	54,0	54,0
51,0	51,0	54,0	52,0	52,0
54,0	49,0	50,0	51,0	56,0
54,0	48,0	52,0	50,5	57,0

Carda Nº 16	Carda Nº 17	Carda Nº 18	Carda Nº 19	Carda Nº 20
52,0	51,5	46,0	51,5	59,0
50,0	54,0	50,0	52,0	56,0
51,0	56,0	48,0	51,0	54,0
53,0	54,0	47,0	51,0	56,5
55,0	55,0	50,0	52,0	59,0

Se obtienen los pesos promedios $\bar{x}$ y los rangos R de cada subgrupo (subgrupo=carda)

Carda Nº 01	Carda Nº 02	Carda Nº 03	Carda Nº 04	Carda Nº 05
56,0	53,0	53,0	48,0	55,0
57,0	55,0	55,0	48,0	57,0
56,5	55,0	54,0	48,0	54,0
56,5	55,5	55,0	49,0	54,0
56,0	53,0	54,0	53,5	57,0
$\bar{x} = 56{,}4$	$\bar{x} = 54{,}3$	$\bar{x} = 54{,}2$	$\bar{x} = 48{,}3$	$\bar{x} = 55{,}4$
$R = 1{,}0$	$R = 2{,}5$	$R = 2{,}0$	$R = 5{,}5$	$R = 3{,}0$

Carda Nº 06	Carda Nº 07	Carda Nº 08	Carda Nº 09	Carda Nº 10
50,0	50,0	51,0	51,0	59,0
51,0	51,0	52,0	53,0	63,0
50,0	51,0	53,0	51,0	61,0
51,0	51,5	53,5	55,0	65,0
49,0	50,0	52,5	50,0	64,0
$\bar{x} = 50{,}2$	$\bar{x} = 50{,}7$	$\bar{x} = 52{,}4$	$\bar{x} = 52{,}0$	$\bar{x} = 62{,}4$
$R = 2{,}0$	$R = 1{,}5$	$R = 2{,}5$	$R = 5{,}0$	$R = 6{,}0$

Carda Nº 11	Carda Nº 12	Carda Nº 13	Carda Nº 14	Carda Nº 15
50,0	51,5	50,0	54,0	51,0
54,0	51,5	51,0	54,0	54,0
51,0	51,0	54,0	52,0	52,0
54,0	49,0	50,0	51,0	56,0
54,0	48,0	52,0	50,5	57,0
$\bar{x} = 52{,}6$	$\bar{x} = 50{,}2$	$\bar{x} = 51{,}4$	$\bar{x} = 52{,}3$	$\bar{x} = 54{,}0$
$R = 4{,}0$	$R = 3{,}5$	$R = 4{,}0$	$R = 3{,}5$	$R = 6{,}0$

Carda Nº 16	Carda Nº 17	Carda Nº 18	Carda Nº 19	Carda Nº 20
52,0	51,5	46,0	51,5	59,0
50,0	54,0	50,0	52,0	56,0
51,0	56,0	48,0	51,0	54,0
53,0	54,0	47,0	51,0	56,5
55,0	55,0	50,0	52,0	59,0
$\bar{x} = 52{,}2$	$\bar{x} = 54{,}1$	$\bar{x} = 48{,}2$	$\bar{x} = 51{,}5$	$\bar{x} = 56{,}9$
$R = 5{,}0$	$R = 4{,}5$	$R = 4{,}0$	$R = 1{,}0$	$R = 5{,}0$

Se obtiene el promedio de los promedios de los subgrupos ($\bar{\bar{x}}$) y el promedio de los rangos de los subgrupos ($\bar{R}$).

Subgrupo	$\bar{x}$	R
01	56,4	1,0
02	54,3	2,5
03	54,2	2,0
04	48,3	5,5
05	55,4	3,0
06	50,2	2,0
07	50,7	1,5
08	52,4	2,5
09	52,0	5,0
10	62,4	6,0
11	52,6	4,0
12	50,2	3,5
13	51,4	4,0
14	52,3	3,5
15	54,0	6,0
16	52,2	5,0
17	54,1	4,5
18	48,2	4,0
19	51,5	1,0
20	56,9	5,0
	$\bar{x} = 52{,}99 \approx 53$	$\bar{R} = 3{,}575$

Calculamos la desviación estándar para datos individuales:

$$\sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\sigma' = \frac{3{,}575}{2{,}326} = 1{,}537$$

Calculamos la desviación estándar para los promedios:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma'}{\sqrt{n}}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{1{,}537}{\sqrt{5}} = 0{,}685$$

Luego establecemos los Límites de Control Superior e Inferior para el gráfico de control de los promedios:

$$L.C.S.A. = 53 + 3(0{,}685) = 55{,}0$$

$$L.C.S. = 53 + 2(0,685) = 54,4$$

$$L.C.S.V. = 53 + 1(0,685) = 53,7$$

$$L.C.I.A. = 53 - 3(0,685) = 51,0$$

$$L.C.I. = 53 - 2(0,685) = 51,6$$

$$L.C.I.V. = 53 - 1(0,685) = 52,3$$

Finalmente elaboramos nuestros diagramas o cartas de control.

DIAGRAMAS PARA RANGOS

Para el cálculo de los límites de control para rangos, usaremos el factor D_4 y D_3 de la siguiente manera:

$$L.C.S. = \overline{R}D_4$$

$$L.C.I. = \overline{R}D_3$$

Continuando con el ejemplo anterior podemos decir que:

$L.C.S. = 3,575 \cdot (2,114) = 7,56$

$L.C.I. = 3,575 \cdot (0) = 0$

INTERPRETACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE CONTROL

Los diagramas de control son esencialmente la representación de la distribución de frecuencias de un colectivo o conjunto de datos.

Las características que presenta un proceso normal son:

- La mayoría de los puntos están cerca de la línea central.
- Unos pocos puntos se alejan de la línea central acercándose a los límites.
- Ningún punto u ocasionalmente uno excede los límites de control.

No existen reglas fijas para interpretar diagramas para cada uno de los muchos procesos de fabricación existentes; sin embargo, se suministra algunas guías para la interpretación correcta de un diagrama.

- Si todos los puntos de la característica de calidad caen dentro de los límites de control, el proceso es normal. En efecto, en ausencia de toda causa perturbadora, el diagrama presenta una serie de puntos dispuestos al azar sin que éstos se salgan fuera de los límites de control.
- Si la característica de calidad cae fuera de control (más de dos puntos fuera de los límites) se admite que puede existir un desajuste en el proceso debido a la presencia de causas sistemáticas (causas asignables) que están perturbando el proceso.
- La tendencia ascendente y descendente de la característica de calidad en el diagrama, nos da una índice de apreciación de la calidad. Generalmente se distinguen dos clases de tendencias:

  a) *Tendencia ascendente o descendente*

Secuencia de puntos situados por encima del precedente (tendencia ascendente) o puntos situados por debajo del mismo (tendencia descendente).

b) *Tendencia con relación al valor central*

Constituidos por una serie de puntos que se inscriben todos por encima o todos por debajo del valor central o promedio.

Cuando más se prolongue la secuencia de éstas tendencias, más improbables es que lo sea por casualidad. Usualmente se consideran tres reglas para corregir el proceso con las dos clases de tendencias.

1. Una secuencia de 2 puntos, es una *advertencia*.
2. Una secuencia de 3-6 puntos es una *señal real de alarma* (iniciar el estudio de causas de desajuste del proceso).
3. Una secuencia de 7 puntos se traduce en un *desajuste* del proceso.

Generalmente una tendencia ascendente o descendente puede introducir una variabilidad brusca del proceso en algunos casos de larga duración y esto es característico cuando se produce desajustes en los trenes de estiraje, diferencias de presión de los brazos pendulares y desgaste de piezas en general de las máquinas de hilandería (manuares, mecheras, continuas, etc.).

CAUSAS QUE AFECTAN AL PROCESO

A) CAUSAS DIRECTAS

Estas causas suelen tener un elemento común, cuando entran al proceso son capaces de afectar todo el producto.

Cuando por ejemplo, varía constantemente la temperatura y humedad de la sala de hilandería desplaza constantemente el centro de la distribución de frecuencias sin afectar su dispersión, es decir, si el centro de la distribución de frecuencias alrededor del eje central sigue la tendencia a subir o bajar, el diagrama de promedios ($\bar{x}$) también registrará esa tendencia.

Las principales causas que afectan a los diagramas de promedios son:

- Materia prima
- Condiciones ambientales
- Ajuste y mantenimiento de maquinaria
- Desajuste de ejes, engranajes, piñones, cojinetes, etc.

B) CAUSAS INDIRECTAS

Estas causas generalmente se detectan en los diagramas de rangos R y tratan parte del proceso de manera diferente que el resto.

Por ejemplo: un operario de hilandería de poca experiencia no siempre ejecuta el empalme del hilo del mismo modo que un operario calificado, esto significa que parte del proceso está recibiendo un tratamiento diferente.

Las principales causas que afectan a los diagramas de rangos son:

- Operarios, mecánicos y supervisores con poca experiencia y conocimiento tecnológico del proceso.
- Materia prima no uniforme en cuanto a sus características más importantes como el grado, longitud y finura, etc.

- Máquinas que tienen que ser reparadas o cambiadas.
- Instrumentos de control en malas condiciones.
- Falsos estirajes durante el proceso.
- Mezclas de fibras diferentes.

Los diagramas de $\bar{x}$ y R son los indicados para detectar e identificar las causas asignables que interfieren o cambian el comportamiento de la materia prima durante el proceso de elaboración del producto. Por este motivo es aconsejable elaborar el diagrama de rangos paralelamente al diagrama de promedios e interpretarlos y estudiarlos conjuntamente. En el caso de encontrar causas asignables, primeramente tratar de colocar los diagramas de rangos bajo control y seguidamente los diagramas de promedios.

Finalmente, siguiendo el control sistemático durante el proceso de fabricación del hilo por ejemplo, se efectúan una serie de mediciones (título o número) que se agrupan en subgrupos (generalmente un subgrupo es una bobina de hilo, una carda o una entrega de manuar) y al diagramarlos con relación al tiempo obligamos a cualquier causa perturbadora a mostrarse de una de las siguientes maneras:

1. Algunas perturbaciones aparecen y desaparecen periódicamente durante el proceso (perturbaciones asociadas), éstas pueden ser el mal funcionamiento de una máquina, por ejemplo.
2. Otras causas existen en el proceso durante periodos considerables (perturbaciones continuas) como por ejemplo: mezclas de diferentes lotes no homogéneos o realimentación excesiva de desechos como napas, cintas, mechas, borra, etc.

DIAGRAMAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Introducción

Sabemos que los diagramas de control por variables se llevan a cabo a través de los datos de laboratorio de ensayo textil de características de calidad como:

- Control de peso por unidad de longitud de napas.
- Densidad lineal de (título o número) de hilos
- Resistencia de hilos y tejidos
- Finura de fibras, etc.

En base a las mediciones de laboratorio, se elaboran los diagramas para promedios y rangos.

Sin embargo, cuando se trata de controlar tonalidades de telas teñidas o puntajes de rollos de tela en base a sus defectos, por ejemplo, se anota simplemente el porcentaje de muestras que son rechazadas.

Si un rollo de tejido es clasificado como defectuoso, no podemos darnos una idea cuantitativa de estos defectos, sino simplemente decimos que es una pieza defectuosa.

Por lo tanto, en ciertas actividades productivas no es factible obtener datos numéricos para diagramas de $\bar{x}$ y R como en el caso del matiz de un teñido, la suavidad y caída de una tela y muchas otras características que determinan clasificar un producto como defectuoso o no defectuoso.

En la elaboración de diagramas por atributos se utilizará el método desarrollado por Shewhart para:

- Diagramas para porcentaje de fracción defectuosa
- Diagramas para número de piezas defectuosas

- Diagramas para número de defectos

DIAGRAMA PARA FRACCIÓN DEFECTUOSA COMO PORCENTAJE

Probablemente es el más usado de los diagramas por atributos y se representa como porcentaje de la fracción defectuosa.

$$\overline{p} = \frac{\sum c}{\sum n} \cdot 100$$

Donde:

$\overline{p}$: Promedio de la fracción defectuosa como porcentaje

$\sum c$: Número total de piezas defectuosas

$\sum n$: Número total de piezas inspeccionadas

La desviación estándar de $\overline{p}$, para un tamaño constante de muestra, se calcula por:

$$\sigma_{\overline{p}} = \sqrt{\frac{\overline{p}(100 - \overline{p})}{n}}$$

Donde:

$\sigma_{\overline{p}}$: Desviación estándar de la fracción defectuosa como porcentaje

$\overline{p}$: Promedio de la fracción defectuosa como porcentaje

n : Número de piezas inspeccionadas por día

Los límites de control (con un nivel de confiabilidad de 99,73%) se calculan con las siguientes fórmulas:

$$LCS = \overline{p} + 3\sigma_{\overline{p}}$$

$$LCI = \overline{p} - 3\sigma_{\overline{p}}$$

DIAGRAMA PARA NÚMERO DE PIEZAS DEFECTUOSAS

En la inspección por atributos existen algunos casos donde se prefiere elaborar diagramas para número de piezas defectuosas en lugar de los diagramas de fracción defectuosa como porcentaje. Este tipo de diagrama, al igual que el anterior, se utiliza cuando el número de artículos o unidades inspeccionadas es constante.

Primero se halla la fracción defectuosa $\overline{p}_1$:

$$\overline{p}_1 = \frac{\sum c}{\sum n}$$

Donde:

$\overline{p}_1$: Promedio de la fracción defectuosa

$\sum c$: Número total de piezas defectuosas

$\sum n$: Número total de piezas inspeccionadas

Luego se calcula el promedio aritmético del número de piezas defectuosas:

$$\overline{p}_n = \overline{p_1} \cdot n$$

Donde:

$\overline{p}_n$: Promedio aritmético del número de piezas defectuosas
$\overline{p}_1$: Promedio de la fracción defectuosa
n : Número de piezas inspeccionadas por día

La desviación estándar de $\overline{p}_n$, para un tamaño constante de muestra, se calcula por:

$$\sigma_{\overline{p}_n} = \sqrt{\overline{p}_n (1 - \overline{p}_1)}$$

Donde:

$\sigma_{\overline{p}_n}$: Desviación estándar del número de piezas defectuosas
$\overline{p}_n$: Promedio aritmético del número de piezas defectuosas
$\overline{p}_1$: Promedio de la fracción defectuosa

Los límites de control (con un nivel de confiabilidad de 99,73%) se calculan con las siguientes fórmulas:

$$LCS = \overline{p}_n + 3\sigma_{\overline{p}_n}$$

$$LCI = \overline{p}_n - 3\sigma_{\overline{p}_n}$$

Ejemplo:

Durante el mes de setiembre, se revisaron 800 piezas de tejido por día, obteniéndose la *tabla 1 Resultados de la inspección de un tejido*; de acuerdo a éste, graficar el diagrama de fracción defectuosa porcentual y el diagrama para número de piezas defectuosas.

RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN DE UN TEJIDO

Día	Piezas inspeccionadas	Piezas defectuosas	Día	Piezas inspeccionadas	Piezas defectuosas
1	800	36	**16**	800	42
2	800	42	**17**	800	36
3	800	38	**18**	800	39
4	800	40	**19**	800	40
5	800	45	**20**	800	38
6	800	39	**21**	800	42
7	800	36	**22**	800	40
8	800	38	**23**	800	38
9	800	43	**24**	800	44
10	800	40	**25**	800	41
11	800	42	**26**	800	42
12	800	39	**27**	800	38
13	800	47	**28**	800	40
14	800	43	**29**	800	39
15	800	46	**30**	800	44
				Σ = 24000	**Σ = 1217**

Tabla 1

DESARROLLO

a. Diagrama de fracción defectuosa porcentual

$$\bar{p} = \frac{1217}{24000} \cdot 100 = 5{,}0708$$

$$\sigma_{\bar{p}} = \sqrt{\frac{5{,}0708\,(100 - 5{,}0708)}{800}} = \sqrt{\frac{481{,}3668}{800}} = \sqrt{0{,}6017} = 0{,}7757$$

Los límites de control, con un nivel de confiabilidad de 99,73% (3σ).

$$LCS = 5{,}0708 + 3(0{,}7757) = 7{,}3979$$

$$LCI = 5{,}0708 - 3(0{,}7757) = 2{,}7437$$

b. Diagrama para número de piezas defectuosas

$$\bar{p}_1 = \frac{1217}{24000} = 0{,}0507$$

$$\bar{p}_n = 0{,}0507 \cdot 800 = 40{,}5667$$

$$\sigma_{\bar{p}_n} = \sqrt{40{,}5667\,(1 - 0{,}0507)} = \sqrt{38{,}5099} = 6{,}2056$$

Los límites de control, con un nivel de confiabilidad de 99,73% (3σ).

$$LCS = 40{,}5667 + 3(6{,}2056) = 59{,}1835$$

$$LCI = 40{,}5667 - 3(6{,}2056) = 21{,}9499$$

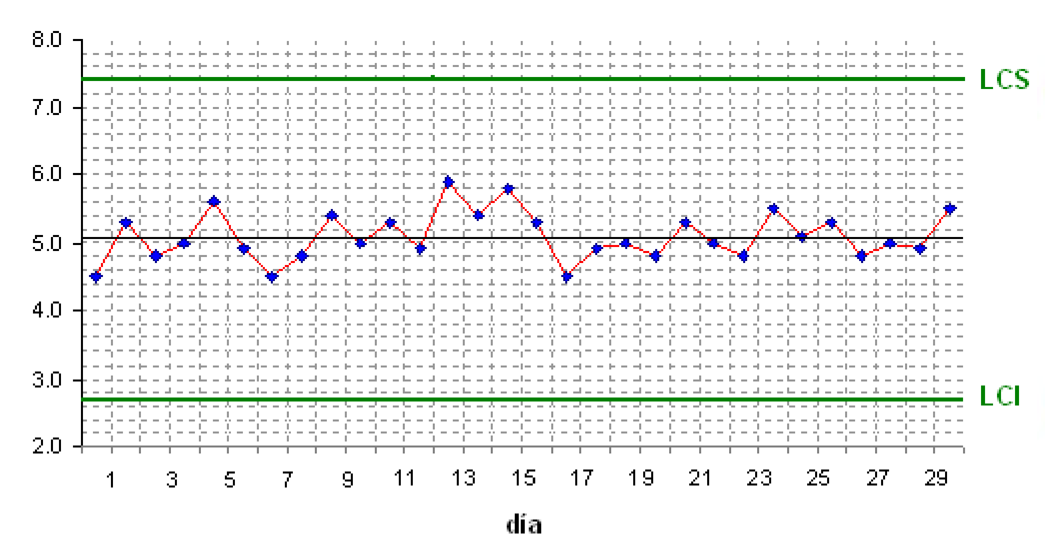


Fig. 9 Diagrama de porcentaje de fracción defectuosa

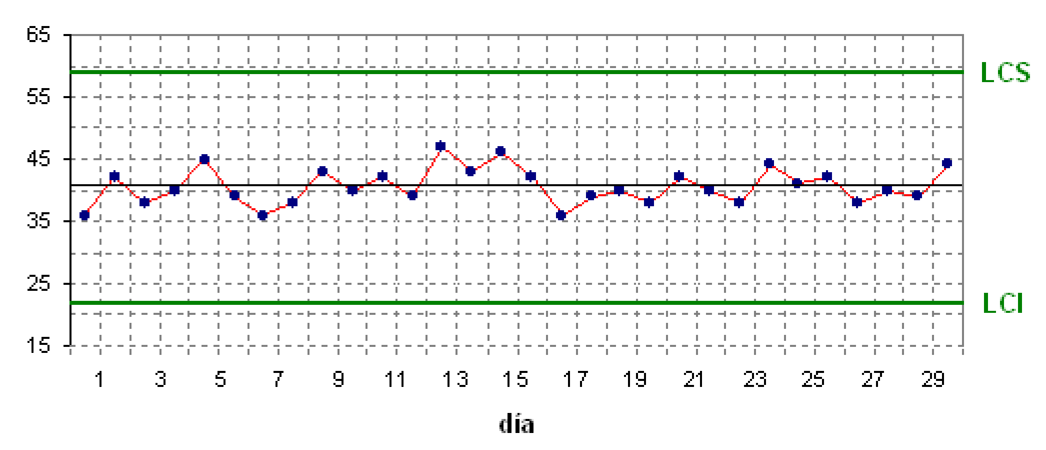


Fig. 10 Diagrama para número de piezas defectuosas

DIAGRAMA PARA NÚMERO DE DEFECTOS

En las diferentes clases de artículos fabricados en la industria textil, existen muchas probabilidades que se produzcan defectos, los cuales afectan la calidad del producto.

Los diagramas para número de defectos también se conocen como diagramas *c*, se aplican cuando se registra el número de defectos por pieza en una muestra de tamaño constante. Se pueden aplicar, por ejemplo, en los defectos de tejidos (plano y de punto), sea cualquiera el origen éstos.

$$\bar{c} = \frac{\sum c}{\sum n}$$

Donde:

$\bar{c}$: Promedio aritmético del número de defectos

$\sum c$: Número total de defectos observados

$\sum n$: Número total de piezas inspeccionadas

La desviación estándar se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{\bar{c}} = \sqrt{\bar{c}}$$

Los límites de control (con un nivel de confiabilidad de 99,73%) se calculan con las siguientes fórmulas:

$$LCS = \bar{c} + 3\sigma_{\bar{c}}$$

$$LCI = \bar{c} - 3\sigma_{\bar{c}}$$

Nota: Se tomará el valor *cero* a toda cifra inferior a la unidad (negativo)

Ejemplo: Se utilizarán los datos de la siguiente tabla, que muestra el número de defectos por pieza de un tejido de algodón.

Número de la pieza	Número de defectos	Número de la pieza	Número de defectos
1	3	23	4
2	4	24	9
3	7	25	4
4	4	26	8
5	9	27	9
6	7	28	4
7	7	29	6
8	4	30	7
9	2	31	8
10	1	32	2
11	6	33	8
12	7	34	5
13	6	35	1
14	6	36	7
15	2	37	4
16	5	38	1
17	6	39	6
18	8	40	2
19	5	41	2
20	9	42	7
21	5	43	8
22	6	44	4
		Σ = 44	**Σ = 235**

$$\bar{c} = \frac{235}{44} = 5{,}3409$$

$$\sigma_{\bar{c}} = \sqrt{5{,}340909} = 2{,}311$$

Los límites de control, con un nivel de confiabilidad de 99,73% (3σ).

$$LCS = 5{,}34 + 3(2{,}311) = 12{,}273$$

$LCI = 5{,}34 - 3(2{,}311) = 12{,}273 = -1{,}593 = 0$ (Si el valor resulta negativo, se considera como cero)

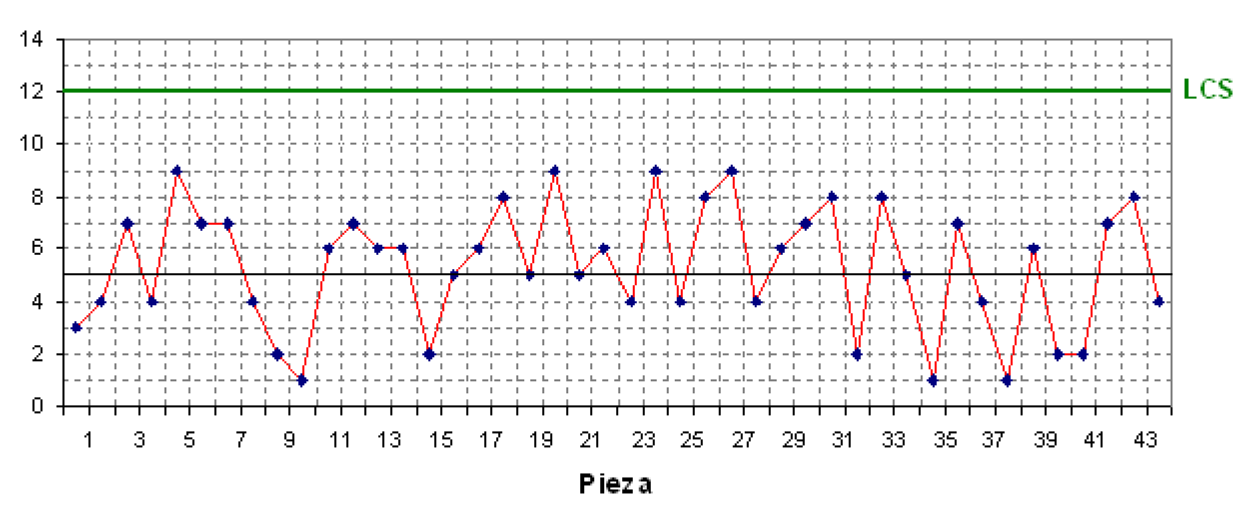


Fig. 11 Diagrama para número de defectos

EL CONTROL DE LA CALIDAD

Como consecuencia del avance de la tecnología moderna en todas las ramas de la producción, en particular de la industria textil, el control de calidad de los materiales es cada vez más indispensable, desde la recepción de la materia prima hasta la salida del hilo o tejido como producto final. Por tanto toda empresa cuyo objetivo sea la obtención de productos de calidad tiene que aprovechar de la mejor forma posible los recursos humanos, materiales y económicos que dispone.

El control de calidad no solamente ayuda a obtener mejores productos, sino que al mismo tiempo mejora la productividad, logrando costos de producción mucho más bajos, ya que resulta más económico corregir las fallas y controlar la calidad en todo el proceso de fabricación y no tener que hacer correcciones en el producto terminado, dándole un aspecto de baja calidad.

Finalmente, toda empresa moderna y organizada debe elaborar un plan integral de control de calidad paralelamente al diseño de sus productos. Este plan involucra:

- Determinar las especificaciones de calidad de la materia prima.
- Determinar las especificaciones de calidad del producto
- Establecer la estandarización de las especificaciones de calidad.
- Contribuir a la obtención de un costo óptimo para el producto.
- Mantener y asegurar la calidad del producto mediante el control sistemático en las diferentes etapas del proceso de fabricación.

CONTROL. CONCEPTO

Según la Real Academia Española la palabra *control* significa *comprobación*, *inspección*, *fiscalización* e *intervención*, pero de acuerdo al avance de la tecnología moderna, éste significado no es suficiente por cuanto *comprobación*, *inspección*, *fiscalización* e *intervención*, son actos *a posteriori* de la verificación de la calidad del producto, es decir, una selección de productos apartando las piezas buenas de las malas.

El nuevo concepto de *control* es el dominio o prevención de la calidad del producto, esto indudablemente implica conocer las técnicas de fabricación y los métodos de control con el objeto de mantenerlos dentro de las especificaciones técnicas previamente establecidas. Los medios para dominar y prevenir la calidad del producto se denominan MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL.

Los métodos estadísticos de control constituyen instrumentos muy valiosos para ayudar al departamento de control, técnicos, supervisores, etcétera a prevenir la calidad del producto. Por otro lado, los métodos por sí solos no determinan la calidad de los productos sino que a su vez es preciso contar con:

- Buena materia prima
- Buenas condiciones de trabajo
- Buenos métodos de fabricación
- Maquinaria
- Personal debidamente capacitado
- Instrumentos de medición, etc.

La calidad no se obtiene por casualidad, sino mediante la atención cuidadosa de los factores que afectan a la calidad de los productos terminados.

CLASES DE CONTROL

Cuando deseamos confrontar las características técnicas de los productos salientes con respecto a las especificaciones de calidad, nos encontramos con dos clases de control:

A) CONTROL DIRECTO

Es efectuado directamente por el Departamento de Control de Calidad, técnicos y supervisores, quienes son responsables directos del proceso de fabricación. El medio más eficaz de analizar los resultados es por medio de la elaboración de diagramas de control tanto por variables como por atributos.

B) CONTROL INDIRECTO

El control del proceso es efectuado por el mismo operario, que dando las comprobaciones y las acciones correctivas para el técnico o supervisor, en algunos casos para la alta dirección de la empresa.

Muchas de las veces, el operario juzga la calidad del producto y a veces modifica el reglaje si es necesario. Este tipo de control resultaría más económico siempre y cuando se les dé los conocimientos mínimos y los medios indispensables.

Por otro lado, los controles pueden ser destructivos y no destructivos, dependiendo si éstos afectan o no a las propiedades físicas y químicas de los materiales.

CALIDAD. CONCEPTO

Todos tenemos una idea más o menos precisa de lo que entendemos por calidad, sin embargo, debemos reconocer que en muchos de los casos ésta se basa en criterios subjetivos difíciles de cuantificarlos. La calidad de un producto se aprecia evaluando un conjunto de características que debe reunir el producto que cumpla las necesidades de los consumidores para un nivel de precio dado.

El control de calidad se define como el conjunto de esfuerzos efectivos de las diferentes líneas de producción de una empresa para la integración del desarrollo, del mantenimiento y de la superación de la calidad de un producto a satisfacción del consumidor y al nivel más económico posible

CALIDAD industrialmente quiere decir MEJOR dentro de ciertas condiciones del consumidor, tales como:

- El uso a que el producto se destina
- El precio de venta

No es práctico ni económico buscar la perfección en estas condiciones y por lo tanto se aceptan tolerancias. La meta, más bien, es obtener y mantener un nivel de calidad en el cual se establezca un balance entre el costo de un producto y el servicio que debe rendir.

Un producto es de buena calidad cuando es confiable, servicial y durable

En general se distinguen dos clases de calidad:

- Calidad de diseño
- Calidad de conformidad.

Calidad de diseño. Es determinado por el departamento de Control de Calidad, tomando en cuenta una serie de criterios técnicos tales como: funcionamiento, eficiencia, consumo de energía, presentación del producto, maquinaria, etc. Por otro lado, el término *diseño* no significa solamente un dibujo, sino también el propósito para el cual ha sido diseñado el producto. Esto es muy importante, además de las características técnicas que debe reunir el producto se deben considerar otros aspectos como:

- Disponibilidad de insumos
- Personal y métodos de trabajo
- Métodos de mercado
- Tipos de formatos (tamaño, forma, color, etc.)
- Resistencia y apariencia
- Estilo
- Duración del producto
- Promoción de ventas

Calidad de conformidad. La calidad de conformidad es determinada por el departamento de Control de Calidad, verificando hasta qué punto el producto final está de acuerdo o no con la estandarización de las especificaciones denominadas PATRONES ESTÁNDARES.

El control de calidad, específicamente en la industria textil, se basa en datos numéricos obtenidos a través del ensayo textil (mediciones de las características físicas o químicas de los materiales y la evaluación de estos datos mediante la aplicación de la estadística.

COSTOS DE CALIDAD

Todos los productos que no están conformes con los patrones estándares son rechazados, esto evidentemente ocasiona una pérdida a la empresa, a esta pérdida la denominamos *costos de calidad*. También podemos denominar costo de calidad al precio que se paga para obtener un producto de acuerdo a las especificaciones técnicas.

Por ejemplo: Se fabrica 100 metros de un determinado tejido, de los cuales 60 metros reúnen los requisitos de calidad y los restantes presentan una serie de fallas como marca de peine, defectos ocasionados por un mal pasado de los hilos de urdimbre por los lizos, teñido, veteado, manchas de grasa, etc. Esto representa una pérdida del 40%. Por lo tanto, el costo de calidad es demasiado elevado; en cambio, si los 100 metros de tejido estuviesen en perfectas condiciones, el costo de calidad sería nulo y el control óptimo.

Muchas empresas presumen ante sus clientes de la buena calidad de sus productos sin tener en cuenta los costos de calidad, pues antes de entregar el producto se han desechado los productos (o tramos de productos) defectuosos, siendo evidente que éstas empresas no tienen un buen control de calidad aunque tengan buena calidad en sus productos vendidos al cliente.

Los costos de calidad pueden ser:

Costos de prevención de calidad

- Gastos de administración
- Planeamiento y programación de la calidad
- Procedimientos e instrucciones para pruebas y control de procesos
- Diseño de equipos y dispositivos

- Capacitación del personal, etcétera

Costos de evaluación de calidad

- Ensayos físicos y químicos de los materiales decepcionados
- Ensayos físicos y químicos durante el proceso de fabricación
- Análisis de los productos terminados (hilos y tejidos)
- Servicio de metrología y laboratorio de ensayo (en el caso que la empresa no disponga)
- Conversión y reparación de los equipos de control, etc.

Gastos de fallas de calidad

- Desperdicios y desechos
- Reprocesamiento de productos defectuosos
- Descuento sobre los productos de clase inferior a la requerida
- Posible pérdida del cliente por la calidad deficiente del producto
- Exceso de gastos de re inspección y ensayo
- Pérdida de la moral del personal, debido a los roces entre departamentos de la misma empresa.

FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD

La industria actualmente se encuentra sujeta a una serie de factores que afectan a la producción y por ende, a la calidad de los productos. Los principales son:

- Materia prima
- Maquinaria y equipos
- Mano de obra calificada
- Métodos de fabricación
- Condiciones ambientales (medio ambiente).

La importancia de cada factor en la calidad del producto, depende del papel que desempeña en el proceso.

Para que el control de calidad tenga éxito en cualquier actividad industrial, es necesario contar con el apoyo decisivo de la Gerencia de la empresa, pero más importante aún es despertar la *conciencia de calidad* en los en los trabajadores en todos los niveles desde los altos directivos hasta el último de los trabajadores.

TAREAS PRINCIPALES DEL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD

Dentro de las tareas principales que debe desarrollar el departamento de control de calidad consideramos las siguientes:

Tareas preventivas

- Determinar el nivel de calidad del producto en el proyecto de fabricación
- Elaboración de diagramas de control para el nivel de calidad requerido
- Planes de muestreo para la aceptación de materia prima
- Estudio y establecimiento de los métodos para alcanzar el nivel de calidad establecido

Tareas de conformidad

- Análisis físico y químico de la materia prima recepcionada
- Análisis físico y químico durante el proceso de fabricación
- Elaboración e interpretación de diagramas de control durante el proceso de fabricación
- Interpretación de diagramas de irregularidad y espectrogramas
- Control de productos acabados
- Comparación de la calidad actual con las especificaciones técnicas

Tareas correctivas

- Estudio de reclamos
- Búsqueda de las fallas por intermedio del personal técnico, supervisores y trabajadores
- Revisión de la calidad para su mejora
- Proporcionar los datos con su correcta interpretación

Tareas de seguridad

- Control de salida de los productos terminados
- Estudio económico de los costos de calidad
- Comparación de la calidad con otras empresas
- Precisión en los datos de ensaye textil
- Adiestramiento del personal

El control de calidad no está por sí solo, sino que contribuye decisivamente a los logros de las metas y objetivos de la empresa, asegurando de este modo el alto rendimiento a bajo costo.

ERRORES DE CONTROL DE CALIDAD

Las variaciones de los resultados de las pruebas de control son en parte las variaciones del proceso y en parte errores de nuestras mismas observaciones. Estos errores pueden deberse a la inexactitud o imprecisión de los instrumentos de medición.

Para determinar los errores de control de calidad lo primero que debemos hacer es determinar las causas, pues estas causas pueden ser el resultado de las habilidades personales, de las condiciones técnicas de la organización y aún de las condiciones psicosociales que existan en la empresa.

Las posibles causas de los errores de control de calidad pueden:

Habilidades personales

a) Vista
b) Paciencia
c) Sensibilidad para distinguir colores
d) Habilidad para descubrir errores

Condiciones técnicas

a) Condiciones ambientales (iluminación, temperatura y humedad)
b) Instrumentos de medición y control
c) Estado y conservación de la maquinaria

Condiciones de la organización

a) Definición de los procedimientos de muestreo, medición y evaluación.
b) Formatos en hojas de instrucciones
c) Riesgos de muestreo
d) Entrenamiento de personal en todos los niveles, etc.

Condiciones psicológicas

a) Relaciones entre empresa y trabajadores
b) Relaciones entre supervisores y trabajadores
c) Relaciones entre los trabajadores
d) Áreas con baja moral por no poder alcanzar los estándares de calidad

ESTANDARIZACION DE LAS ESPECIFICACIONES DE CALIDAD

ESPECIFICACIONES DE CALIDAD

Las especificaciones de calidad es una descripción detallada de las pruebas básicas de control en cada fase del proceso de fabricación, indicando las características técnicas que debe cumplir:

a) La materia prima
b) El proceso de fabricación
c) El producto acabado

Las especificaciones de calidad se deben conocer y cumplirlas con el fin de alcanzar y mantener la calidad del producto y que responda a las condiciones impuestas por el consumidor, de allí que un producto será de mejor calidad que otro producto si éste responde a las características impuestas por el cliente.

Por lo tanto, la determinación de las especificaciones de calidad constituye el primer paso que debe adoptar toda empresa para obtener productos de calidad.

ESTANDARIZACION

Estandarización significa pensar y trabajar económicamente, mediante el establecimiento de las especificaciones de calidad dentro de un grado de confiabilidad aceptable. No siempre las ventajas que se obtienen de la utilización de los estándares son inmediatas y tampoco definitivas.

Los estándares o normas de calidad no son estáticos, son cambiables y se renuevan a medida que se vayan introduciendo nuevos métodos, nuevos procesos y nuevos materiales.

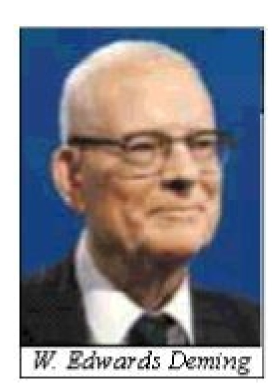
La acción correctiva de la estandarización se debe llevar a cabo en forma racional, teniendo en cuenta su fácil identificación.

Las principales ventajas que ofrece la estandarización son:

a) Mantener la calidad deseable del producto.
b) Reducción de los costos de producción.
c) Reducir los reclamos de los clientes.
d) Reducir al mínimo los desperdicios de fabricación.
e) Mantener la aceptación constante de los clientes.
f) Incrementar la producción.
g) Mejoramiento de la moral del trabajador y la reducción de problemas en la línea de producción.
h) Mejorar la calidad del diseño y del producto.
i) Reducción de las pérdidas.
j) Simplificar el trabajo.
k) Establecer programas preventivos de mantenimiento.

Manteniendo y mejorando la calidad del producto se mantendrá la confianza entre empresa, trabajadores y consumidores.

HERRAMIENTAS DE LA CALIDAD


W. Edwards Deming

En la década de los 50 se comenzaron a aplicar en Japón las herramientas estadísticas de Control de Calidad, desarrolladas anteriormente por Shewhart y Deming.

Los progresos, en materia de mejora continua de la calidad, se debieron en gran medida, al uso de estas técnicas. Fue el profesor Kaoru Ishikawa quien extendió su utilización en las industrias manufactureras de su país, en los años 60, acuñando la expresión de *7 herramientas para el control de la calidad*. Estas herramientas pueden ser descritas genéricamente como "métodos para la mejora continua y la solución de problemas". Consisten en técnicas gráficas que ayudan a comprender los procesos de trabajo de las organizaciones para promover su mejoramiento. Son de creación occidental, excepto el diagrama causa-efecto que fue ideado por Ishikawa.


Kauro Ishikawa

El éxito de estas técnicas radica en la capacidad que han demostrado para ser aplicadas en un amplio conjunto de problemas, desde el control de calidad hasta las áreas de producción, marketing y administración.

Estas técnicas pueden ser manejadas por personas con una formación media, lo que ha hecho que sean la base de las estrategias de resolución de problemas en los círculos de calidad y, en general, en los equipos de trabajo conformados para acometer mejoras en actividades y procesos.



Las herramientas son:

- **Hoja de recogida de datos, hoja de registro, hoja de control, hoja de verificación, hoja de chequeo, Checklist**

  Herramienta utilizada para la recopilación ordenada y estructurada de toda la información relevante que se genera en los procesos.

- **Histograma**

  Gráfico de barras que muestra de forma visual la distribución de frecuencias de datos cuantitativos de una misma variable.

- **Diagrama de Pareto**

  Gráfico de barras organizado de mayor a menor frecuencia, que compara el nivel de importancia de todos los factores que intervienen en un problema o cuestión.

- **Diagrama de causa-efecto, diagrama de Ishikawa, diagrama de espina de pez**

  Representación gráfica de las relaciones lógicas que existen entre las causas y subcausas que producen un efecto determinado.

- **Estratificación**

  Es la clasificación por afinidad de los elementos de una población, para analizarlos y poder determinar con más facilidad las causas del comportamiento de alguna característica de calidad.

- **Diagrama de correlación, diagrama de dispersión, diagrama de Scatter:**

  Gráfico que muestra la existencia o no de una relación entre dos variables.

- **Gráficos de control, cartas de control, gráficos de corrida, *Run Chart***

  Representación gráfica de los distintos valores que toma una característica correspondiente a un proceso. Permite observar la evolución de este proceso en el tiempo y compararlo con unos límites de variación fijados de antemano que se usan como base para la toma de decisiones.

UNIDADES DE TEMPERATURA

Se dividen en dos tipos: las relativas y las absolutas. Los valores que puede adoptar la temperatura en cualquier escala de medición, no tienen un nivel máximo, sino un nivel mínimo: el cero absoluto. Mientras que las escalas absolutas se basan en el cero absoluto, las relativas tienen otras formas de definirse.

RELATIVAS

Escala Celsius (° C).- Tiene como punto fijos: grado cero (0° C) correspondiente a la temperatura en el cual el agua cambia del estado líquido a sólido, y el grado cien (100° C) correspondiente a la temperatura del agua en ebullición (hirviendo). El intervalo entre el 0° C y el 100° C se divide en cien partes iguales, cada uno de los cuales es un grado centígrado.

Esta escala se utiliza en América y en la mayor parte de los países del mundo. Es la preferida para el uso técnico y científico.

Escala Fahrenheit (° F).- La escala se establece entre las temperaturas de congelación y evaporación del agua, que son 32 F y 212 F. El espacio comprendido entre los puntos de 32° F y 212° F se divide en 180 partes iguales, cada parte corresponde a un grado Fahrenheit. Esta escala se usa en los países de habla inglesa.

ABSOLUTAS

Escala Kelvin (K).- Esta escala está basada en la idea del 0 absoluto, la temperatura teórica en la que todo movimiento molecular se para y no se puede detectar ninguna energía. En teoría el punto cero de la escala de Kelvin es la temperatura más baja que existe en el universo: -273,15° C. La escala Kelvin usa la misma unidad de división que la escala Celsius. Sin embargo vuelve a colocar a punto cero en el cero absoluto: -273,15° C. Es así que el punto de congelamiento del agua es 273,15 Kelvin (las graduaciones son llamadas en la escala y no usa ni el término *grado* ni el símbolo °), y 373,15 K es el punto de ebullición del agua. Esta escala es usada comúnmente en las medidas científicas.

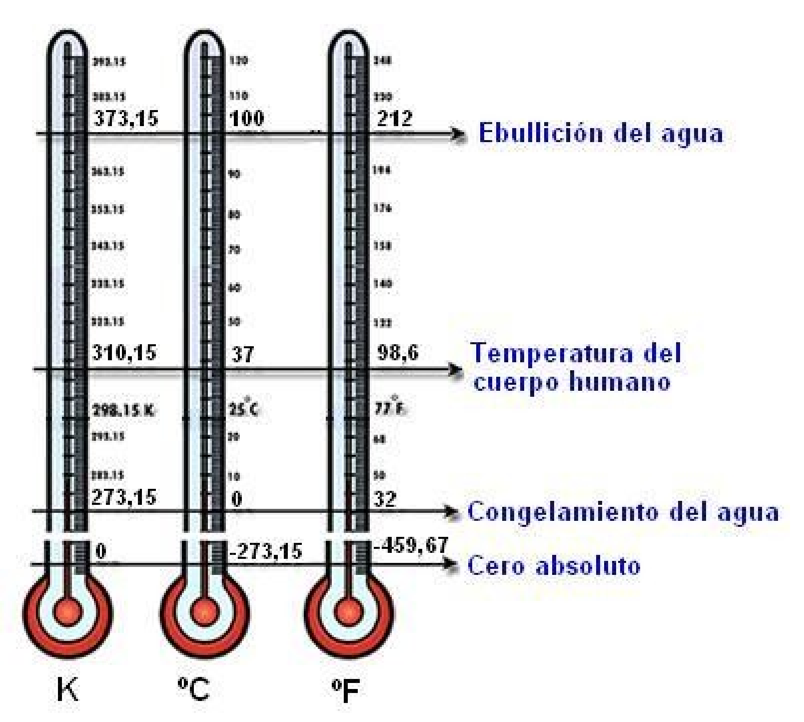


Fig. 12 Comparación entre las escalas de temperatura Kelvin, Fahrenheit y Celsius

Relación entre escalas de temperatura

Los diferentes termómetros que existen se basaron en ideas con apariencia distintas, al usar diferentes puntos de partida en sus mediciones, pero como todos miden la agitación térmica de las moléculas, lo único que cambia es la escala empleada por cada uno de sus inventores.

Se tiene las siguientes escalas:

Escala	Cero absoluto	Fusión del hielo	Evaporación del agua
Kelvin	0 K	273,15 K	373,15 K
Celsius	-273,15° C	0° C	100° C
Fahrenheit	-459,67° F	32° F	212° F

Conversiones de valores de temperatura

	Kelvin	Celsius	Fahrenheit
Kelvin	-	$K = C + 273{,}15$	$K = (F + 459{,}67) \cdot \frac{5}{9}$
Celsius	$C = K - 273{,}15$	-	$C = (F - 32) \cdot \frac{5}{9}$
Fahrenheit	$F = \left(K \cdot \frac{9}{5}\right) - 459{,}67$	$F = \left(C \cdot \frac{9}{5}\right) + 32$	-

Ejemplo 1: Convertir 68 grados Fahrenheit a grados Celsius:

$$^{o}C = (68 - 32) \cdot \frac{5}{9} = 36 \cdot \frac{5}{9} = 20$$

Ejemplo 2: Convertir 100 grados Celsius a grados Fahrenheit:

$$^{o}F = \left(100 \cdot \frac{9}{5}\right) + 32 = (20 \cdot 9) + 32 = 180 + 32 = 212$$

Ejemplo 3: Convertir 670 grados Fahrenheit a Kelvin:

$$K = (670 + 459{,}67) \cdot \frac{5}{9} = 1129{,}67 \cdot \frac{5}{9} = 627{,}59$$

HUMEDAD ATMOSFÉRICA

La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y varía según las condiciones climatológicas (temperatura y presión atmosférica).

¿Qué es la Psicrometría?

Es la ciencia que estudia las propiedades físicas del aire atmosférico. Este aire está constituido por una mezcla de aire seco y vapor de agua. El aire seco es una mezcla de varios gases, siendo la composición general la siguiente:

- Nitrógeno : 77%
- Oxigeno : 22%
- Anhídrido carbónico y otros gases : 1%

El aire tiene la capacidad de retener una cantidad variable de vapor de agua en relación a la temperatura del aire: a menor temperatura, menor cantidad de vapor y a mayor temperatura, mayor cantidad de vapor de agua; a presión atmosférica constante.

EXPRESIONES DE LA HUMEDAD EN EL AMBIENTE

- **HUMEDAD ABSOLUTA**

  La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, se expresa en gramos de agua por kilogramos de aire seco (g/kg), gramos de agua por unidad de volumen (g/m^3) o como presión de vapor (Pa o KPa o mmHg).

- **HUMEDAD RELATIVA**

  La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa en porcentaje y está normalizada de forma que la humedad relativa máxima posible es el 100%.

  Una humedad relativa del 100% significa un ambiente en el que no cabe más agua. El cuerpo humano no puede transpirar y la sensación de calor puede llegar a ser asfixiante, corresponde a un ambiente húmedo. Una humedad del 0% corresponde a un ambiente seco, en esta condición se transpira con facilidad.

  La humedad relativa es una medida del contenido de humedad del aire y, en esta forma, es útil como indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia conectiva. No obstante, los valores de humedad relativa tienen la desventaja de que dependen fuertemente de la temperatura del momento.

MEDICIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA

Para la medición de la humedad relativa de un ambiente existen numerosos equipos, que se basan en principios diversos:

A. Método del punto de rocío

El punto de rocío o temperatura de rocío es la temperatura a la cual el aire queda saturado por enfriamiento sin adición de vapor de agua y a presión constante (proceso isobárico), produciendo así la niebla, rocío o, en caso que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha. También

puede decirse que es la temperatura a la que el vapor de agua de la atmósfera empieza a condensarse.

Cualquier objeto de una habitación que tenga una temperatura menor que la temperatura de rocío presenta condensación en su superficie por este fenómeno. Así ocurre por ejemplo cuando añadimos agua helada a un vaso y situamos éste sobre una mesa: al poco tiempo, la temperatura del vaso es menor que la de rocío y observamos como las paredes se empañan de humedad.

Para cualquier temperatura de punto de rocío el contenido de vapor de agua es constante, este concepto es muy útil para expresar la humedad atmosférica, ya que se usa para pronosticar la probabilidad de formación de niebla y nubes, etc.

Veamos un ejemplo: Si en un día determinado, en Lima tenemos 21º C de temperatura y 80% de humedad relativa, el correspondiente punto de rocío (de acuerdo a la tabla) es de 17º C. Pero ¿qué significan estos 17 grados? Pues bien, si el aire de la zona se enfría rápidamente, y la temperatura desciende de los 21º C actuales hasta los 17º C del "punto de rocío" (o sea, un descenso de 4 grados en pocos minutos), sucederán dos fenómenos meteorológicos consecutivos: Primero, se formarán pequeñísimas gotas de agua líquida (rocío) sobre todas las superficies lisas que se encuentran al aire libre. Esas gotitas de rocío son las que dan el nombre a nuestro "punto de rocío". Enseguida la condensación de agua también se producirá en el aire, formándose innumerables gotitas de agua en suspensión, las cuales constituyen una niebla.

Por lo tanto, el punto de rocío es la temperatura, a la cual, en un aire que se enfría, comienza la formación de niebla, y también de rocío sobre los objetos.

Temperatura ambiente (ª Celsius)	Humedad relativa (%)																	
	10	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**	**55**	**60**	**65**	**70**	**75**	**80**	**85**	**90**	**95**
6	-24	-19	-16	-13	-11	-9	-7	-6	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
7	-23	-18	-15	-12	-10	-8	-6	-5	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
8	-22	-18	-14	-11	-9	-7	-5	-4	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7
9	-22	-17	-13	-11	-8	-6	-4	-3	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
10	-21	-16	-12	-10	-7	-5	-4	-2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	-20	-15	-12	-9	-6	-4	-3	-1	0	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	-19	-14	-11	-8	-6	-4	-2	0	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	-18	-14	-10	-7	-5	-3	-1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12
14	-18	-13	-9	-6	-4	-2	0	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13
15	-17	-12	-8	-5	-3	-1	1	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14
16	-16	-11	-7	-5	-2	0	2	4	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15
17	-15	-10	-7	-4	-1	1	3	4	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16
18	-15	-10	-6	-3	0	2	4	5	7	8	10	11	12	13	14	15	16	17
19	-14	-9	-5	-2	0	3	5	6	8	9	11	12	13	14	15	16	17	18
20	-13	-8	-4	-1	1	4	5	7	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19
21	-12	-7	-3	0	2	4	6	8	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20
22	-12	-6	-3	1	3	5	7	9	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21
23	-11	-6	-2	1	4	6	8	10	11	13	14	16	17	18	19	20	21	22
24	-10	-5	-1	2	5	7	9	11	12	14	15	16	18	19	20	21	22	23
25	-9	-4	0	3	6	8	10	12	13	15	16	17	19	20	21	22	23	24
26	-9	-3	1	4	7	9	11	13	14	16	17	18	20	21	22	23	24	25

La tabla de puntos de rocío relaciona la **temperatura ambiente** y la **temperatura del punto de rocío**, es decir la que corresponde a la condensación de humedad ambiente, con la **humedad relativa ambiente**. Para utilizarla, el procedimiento es el siguiente:

- Se ubica el valor de la temperatura ambiente (en ° C) en la columna a la izquierda.
- Se busca, en la fila correspondiente al valor de la temperatura ambiente, el número que coincide con la temperatura del punto de rocío (en ° C); en la actividad corresponde a la

temperatura del agua dentro de la lata en el momento en el que se observa la aparición de gotitas de agua en su exterior.

- Se asciende por la columna de la temperatura del punto de rocío hasta la fila superior, en la que se encuentra la humedad relativa ambiente (en %).

Por ejemplo, si la temperatura ambiental es de 18° C y el punto de rocío es 12° C, entonces la humedad relativa ambiente es del 70%.

B. Método de higrómetro de bulbo seco y húmedo

Los instrumentos usados para medir la humedad relativa son conocidos como *higrómetros* o *psicrómetros*.

El higrómetro de bulbo seco y húmedo se basa en el siguiente principio:

Si el bulbo del termómetro está rodeado de una película de agua y el aire circundante está saturado, el agua deberá evaporarse dentro del aire a una velocidad proporcional a la diferencia entre la humedad actual y el 100% de humedad; es decir, en condiciones de saturación.

Además de esto, la evaporación del agua es acompañada por enfriamiento, la temperatura indicada por el termómetro del bulbo húmedo será menor que la temperatura de la sala (temperatura del bulbo húmedo) por otro lado, si el aire está demasiado seco, la humedad de la mecha se evaporará rápidamente, bajando la temperatura del bulbo húmedo, si por el contrario el aire que se analiza es muy húmedo, poco o nada se evaporará la humedad de la mecha, en consecuencia la temperatura bajará poco o nada.

Este método es el más empleado en la industria textil, por ser más sencilla su aplicación.

Existen dos tipos de higrómetros de bulbo seco y húmedo:

- **Higrómetro fijo.** Este higrómetro tiene los termómetros en posición permanente, el bulbo húmedo es mojado por una mecha que se halla sumergida en un recipiente con agua destilada. A este instrumento se incorpora un diagrama y un índice para calcular la humedad relativa.

- **Higrómetro de boleo.** Este tipo de psicrómetro es manuable y consta de dos termómetros idénticos, los cuales se encuentran fijos en una armadura rígida. Uno de ellos es conocido como bulbo seco y registra la temperatura del ambiente y un segundo termómetro tiene el bulbo cubierto por una mecha de seda artificial o algodón mercerizado el cual es mojado en agua destilada antes de ser usado.



Fig. 13 Higrómetro de boleo

Este termómetro registra la temperatura del bulbo húmedo, que será la temperatura al cual la atmósfera se ha saturado por la evaporación del agua.

El cálculo de la humedad relativa se puede efectuar por medio de reglas o tablas psicométricas, por otro lado, los termómetros vienen graduados en grados centígrados o grados Fahrenheit, para lo cual se acompaña una escala de conversión de grados y tabla psicométrica.

Uso correcto del higrómetro de boleo

Se moja el termómetro húmedo con agua destilada, se hace girar el psicrómetro ±3 vueltas por segundo, durante unos 20 segundos para asegurar una buena lectura.

Al girar el psicrómetro el agua que contiene el bulbo húmedo en contacto con el aire se satura hasta el punto de evaporación (el calor tomado de la columna de mercurio).

Para las lecturas de los termómetros se hace primero la del bulbo húmedo manteniendo el psicrómetro alejado del cuerpo, se repite la operación hasta encontrar una lectura constante,

en seguida se toma la temperatura del bulbo seco. Con esa diferencia del bulbo seco y húmedo se puede encontrar la humedad relativa en las tablas psicrométricas, según sea grados Celsius o Fahrenheit

Por medio de la tabla psicrométrica también se puede determinar la humedad relativa de las diferentes salas de trabajo; así como para corregir los pesos de los ensayos a las condiciones normales de temperatura y humedad.

TABLA PSICOMÉTRICA PARA EL HIGRÓMETRO DE BOLEO

	Diferencia entre el bulbo seco y húmedo (en grados Celsius)									
Temperatura del aire (Bulbo seco) en º C	**1**	**2**	**3**	**4**	**5º**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
10	88	77	65	55	44	34	24	16	6	-
11	89	78	67	56	46	36	27	18	9	-
12	89	78	68	58	48	39	29	21	12	-
13	89	79	69	59	50	41	32	23	15	7
14	90	79	70	60	51	42	34	26	18	10
15	90	80	71	61	53	44	36	27	20	13
16	90	81	71	63	54	46	38	30	23	15
17	90	81	72	64	55	47	40	32	25	18
18	91	82	73	65	57	49	41	34	27	20
19	91	82	74	65	58	50	43	36	29	22
20	91	83	74	66	59	51	44	37	31	24
21	91	83	75	67	60	53	46	39	32	26
22	92	83	76	68	61	54	47	40	34	26
23	92	84	76	69	62	55	48	42	36	30
24	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	92	84	77	70	63	57	50	44	39	33
26	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	92	85	78	71	65	58	52	47	41	36
28	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
29	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38
30	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39
31	93	86	80	73	67	61	56	51	45	40
32	93	86	80	74	68	62	57	51	46	41
33	93	87	80	74	68	63	57	52	47	42
34	93	87	81	75	69	63	58	53	48	43
35	94	87	81	75	69	64	59	54	49	44
36	94	87	81	75	70	64	59	54	50	45
37	94	87	82	76	70	65	60	55	51	46
38	94	88	82	76	71	66	61	56	51	47
39	94	88	82	77	71	66	61	57	52	48
40	94	88	82	77	72	67	62	57	52	48
41	94	88	83	77	72	67	62	58	53	49
42	94	88	83	78	72	67	63	58	54	50
43	94	88	83	78	73	68	63	59	55	50
44	94	89	83	78	73	68	64	59	55	51

C. Higrómetro de cabello

Es sabido que muchas sustancias orgánicas como la madera, ciertas fibras vegetales, etc., absorben más o menos la humedad del aire y a la vez son muy poco sensibles las variaciones de longitud por efecto de los cambios de temperatura. El suizo Horace Bénédict de Saussure (considerado como el padre del alpinismo) aprovechando esta propiedad de los cabellos humanos construyó el primer higrómetro que lleva su nombre.

El cabello o haz de cabellos humanos que han de usarse, deben ser largos, lisos y libres de grasas que pudieran impedir la absorción de la humedad.

La principal ventaja de los higrómetros de cabello es que nos indica directamente la humedad relativa y la temperatura del medio ambiente sin el empleo de agua destilada, ni reglas o tablas psicométricas.



Fig. 14



Fig. 15

D. Higrómetro electrónico

Se utiliza la capacidad de ciertos materiales de absorber moléculas de vapor de agua a través de su superficie. Este proceso, al modificar las propiedades eléctricas de una componente de un circuito electrónico (resistencia o condensador), permite crear una señal eléctrica que es proporcional a la humedad. Este tipo de sensor se utiliza en estaciones meteorológicas automáticas y en equipos de radiosondeos.

E. Higrómetro espectroscópico

Son equipos relativamente caros pero de alta precisión. Se basan en la propiedad del vapor de agua en la atmósfera de absorber radiación infrarroja en bandas específicas del espectro electromagnético. La mayor o menor radiación absorbida se relaciona con el nivel de humedad del aire. Se utilizan en mediciones de humedad donde se requiere una alta tasa de muestreo (por ejemplo en mediciones de turbulencia del vapor de agua).

INFLUENCIA DE LA HUMEDAD EN LOS PROCESOS TEXTILES

La humedad del ambiente influye en los procesos textiles de la siguiente manera:

- El aire seco ocasiona que los materiales tengan baja absorción de humedad, afectando la calidad y productividad.
- Ocurre la formación de cargas electrostáticas. Los procesos de fricción son inevitables en cilindros, ojales, guiahílos y muchas otras piezas de máquina, provocando con una humedad atmosférica relativamente baja – también en fibras convencionales como lana, lino, yute, algodón y seda natural – fenómenos de descarga que perjudican la producción.
- Los materiales que tienen un correcto nivel de humedad tienen menos probabilidad de quebrarse, calentarse y producir fricción. Se manejan mejor, tienen menos imperfecciones, son más uniformes y se sienten mejor al tacto.
- El peso de los materiales es estandarizado a 65% de H.R. y 21° C. La falta de estas condiciones causa que los materiales pierdan peso y con ello se disminuyen las ganancias.
- El material textil higroscópico reacciona con sensibilidad a las oscilaciones de la humedad: se estira cuando aumenta la humedad y se acorta al disminuir ésta. Una excepción al respecto son algunas fibras sintéticas.
- En condiciones de baja humedad en el aire, aumenta el polvo y la pelusa en el ambiente, generando un ambiente incómodo de trabajo.

Factores del ambiente que influyen en la comodidad humana

La temperatura ambiente es uno de los factores que más condicionan la comodidad humana en un recinto pero no el único.

La sensación de calor, de acaloramiento, no sólo depende de la temperatura sino de la capacidad de cuerpo humano para transpirar. Esencialmente el proceso de transpiración es la evaporación de agua a través de la piel humana. Al evaporarse el agua, el cuerpo humano necesita suministrarle una cierta cantidad de calor (llamada calor latente). Esa pérdida de calor nos hace sentir un cierto frescor.

Para la comodidad personal la humedad relativa es un factor importante porque cuando es baja causa una un exceso de pérdidas de calor del cuerpo por evaporación de agua, provocando resequedad de la piel y de las membranas mucosas. Cuando la humedad es alta, el sudor no se evapora con facilidad y el cuerpo no puede enfriarse adecuadamente.

Cuando se enfría aire húmedo en ausencia de superficies sólidas sobre las cuales pueda producirse la condensación, la presión parcial del agua puede ser superior a la presión de vapor del agua a esa temperatura, por lo que se dice que el aire está sobresaturado de vapor de agua. Cuando el sistema está en condiciones metaestables (casi en equilibrio) y se perturba, se puede provocar una condensación repentina que se manifiesta formando neblina o pequeñas gotas líquidas.

VELOCIDADES

TIPOS

Para efectos prácticos vamos a hablar de dos:

a) Velocidad de giro

Llamada también *velocidad de rotación*, su enunciado general es:

$$Velocidad\ de\ rotación = \frac{Revoluciones}{Tiempo}$$

Como se observa, indica la cantidad de revoluciones (rotaciones, giros, vueltas) por una unidad de tiempo. Siendo su expresión más común las revoluciones por minuto (**rpm**).

Ejemplo:

Un cilindro en rotación realiza 3,5 giros en un segundo, ¿cuál será su velocidad de giro en revoluciones por minuto?

$$Revoluciones\ por\ minuto = \frac{3{,}5\ Revoluciones}{1\ segundo} \cdot \frac{60\ segundos}{1\ minuto} = 210\ rpm$$

b) Velocidad periférica

Es la velocidad que se desarrolla en la superficie de un elemento que gira, también se le llama tangencial, su enunciado general es:

$$Velocidad\ periférica = \frac{Longitud}{Tiempo}$$

Expresa las unidades de longitud (metros, yardas, kilómetros, pulgadas) recorridas por cada unidad de tiempo (segundo, minuto, hora) sobre la periferia de un elemento rotatorio. Sus formas de expresión más usuales son metros por segundo (**m/s**), metros por minuto (**m/min**) y kilómetros por hora (**km/h**).

Dado que – en su gran mayoría- los órganos que giran presentan una sección circular, la longitud viene a ser la periferia del círculo por la cantidad de giros realizados, es decir:

$$Longitud = \phi \cdot \pi \cdot revoluciones$$

Realizando el reemplazo la ecuación toma la siguiente forma:

$$Velocidad\ periférica = \frac{\phi \cdot \pi \cdot revoluciones}{Tiempo}$$

Como sabemos que $Velocidad\ de\ rotación = \frac{Revoluciones}{Tiempo}$

Efectuamos el reemplazo:

$$Velocidad\ periférica = \phi \cdot \pi \cdot \frac{revoluciones}{Tiempo} = \phi \cdot \pi \cdot velocidad\ de\ rotación$$

$$\boxed{Velocidad\ periférica = \phi \cdot \pi \cdot velocidad\ de\ rotación}$$

Debe tenerse en cuenta – eso sí – las unidades de longitud y tiempo para efectuar un correcto cálculo. En todo caso, puede emplearse estas variantes para hallar los metros por minuto:

$$m/\min = \phi_m \cdot \pi \cdot rpm = \frac{\phi_{cm} \cdot \pi \cdot rpm}{100} = \frac{\phi_{mm} \cdot \pi \cdot rpm}{1000} = \frac{\phi_{pu\lg adas} \cdot \pi \cdot rpm}{39{,}37}$$

Ejemplo 1:

Del ejercicio anterior, si se sabe que el cilindro tiene un diámetro de 12 centímetros, ¿cuál será su velocidad periférica en metros por minuto?

Usando la fórmula general y la conversión de unidades:

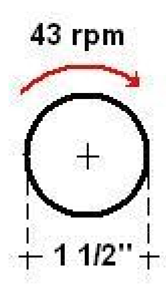
$$m/\min = 0{,}12\ m \cdot 3{,}1416 \cdot \frac{3{,}5\ revoluciones}{1\ segundo} \cdot \frac{60\ segundos}{1\ \min uto} = 79{,}17$$

Empleando la segunda fórmula:

$$m/\min = \frac{12\ cm \cdot 3{,}1416 \cdot 210\ rpm}{100} = 79{,}17$$

Ejemplo 2:

¿Cuál será la velocidad periférica – en metros por minuto – de un eje que gira a 43 revoluciones por minuto, si tiene un diámetro de 1 ½ pulgadas?



Empleando la segunda fórmula:

$$m/\min = \frac{1{,}5\ pu\lg \cdot 3{,}1416 \cdot 43\ rpm}{39{,}37} = 5{,}15$$

DIAGRAMA CINEMÁTICO

Llamado también cadena cinemática, es una representación gráfica que muestra las etapas sucesivas de la transmisión del movimiento de una máquina. Debe ser tomada directamente de ésta, dibujando inicialmente a mano alzada.

Para su realización deben tenerse en cuenta estos pasos:

a) Primero se identifican los órganos de trabajo.

b) Luego, las secuencias y los elementos de transmisión que intervienen.

c) Si en la máquina hay un conjunto de elementos de transmisión, es posible separarlo del grupo, por ejemplo los ejes, para hacer más clara la secuencia de transmisión.

d) Una vez obtenido el dibujo, se indicarán las dimensiones de los órganos de trabajo que se consideren necesarios.

El diagrama cinemático no es realizado a escala, pero el dibujo debe hacerse con sentido de proporción.

En el cuadro adjunto se muestran los símbolos más usuales de los elementos mecánicos empleados en su confección.

Símbolo	Denominación
	Árboles y ejes de transmisión
	Apoyo de eje, cojinete
	Transmisión por correa en V (trapezoidal)
	Transmisión por correa dentada
	Transmisión por cadena
	Transmisión por engranajes cilíndricos
M	Motor
	Transmisión por engranajes cónicos
x	Transmisión por tornillo sin fin y corona

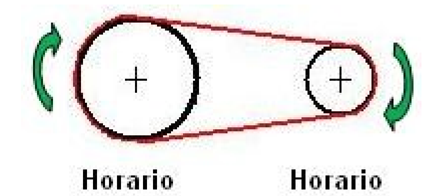
TRANSMISIÓN DEL MOVIMIENTO

Consideraremos que el movimiento tiene dos aspectos: sentido y velocidad.

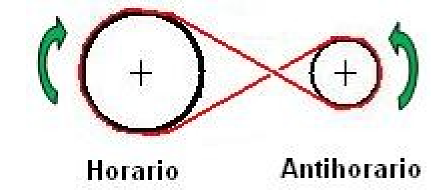
- **Sentido**

  Si es un movimiento de giro, puede ser en sentido horario o en sentido antihorario. Para los movimientos superficiales, puede ser hacia la izquierda o a la derecha, hacia arriba o abajo.

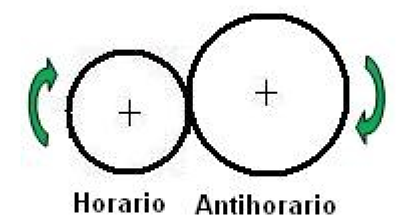
  En un par mecánico formado por poleas, los sentidos de ambos elementos son iguales, independientemente de sus diámetros:



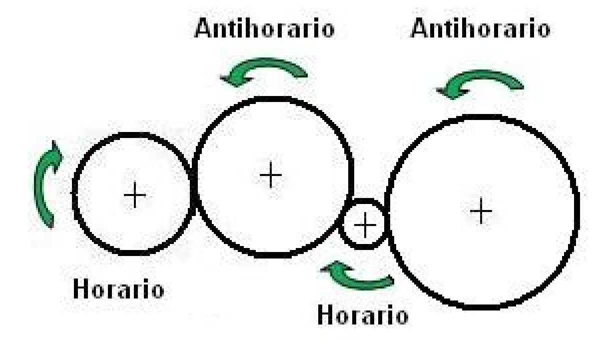
Si la faja que las une está cruzada, los sentidos de giro se invierten:



En las transmisiones por engranajes, los sentidos de giro de los elementos del par son opuestos, independientemente del número de dientes:



Si hay más de dos engranajes que intervienen en la transmisión del movimiento, sus sentidos de rotación se alternan:



- **Velocidad**

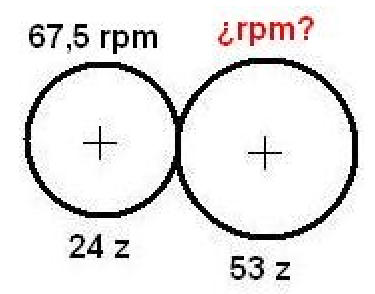
  Es la intensidad del movimiento. Mediante el empleo del diagrama cinemático se puede determinar las velocidades de giro (rpm) y periféricas (m/min) de diversos órganos de una máquina.

  La velocidad de giro de un elemento se calcula multiplicando la velocidad de giro del motor por la relación de transmisión (a través de engranajes, poleas y ejes) hasta el eje del mismo elemento. Se debe tener en cuenta lo siguiente:

  Las rpm de un elemento, que conforma un par mecánico – dos poleas o dos engranajes – son inversamente proporcionales a su diámetro (si es polea) o a su número de dientes (si se trata de engranajes).

$$\frac{rpm_a}{rpm_b} = \frac{\phi_b}{\phi_a} = \frac{z_b}{z_a}$$

Ejemplo 1: En un par mecánico formado por dos engranajes, uno de ellos tiene 24 dientes y gira a 67,5 revoluciones por minuto, se desea saber la velocidad de rotación del segundo engranaje, si éste presenta 53 dientes.

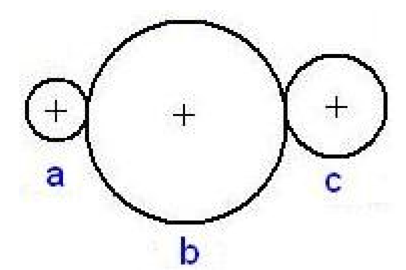


Aplicando la fórmula tenemos:

$$\frac{67{,}5\ rpm}{x} = \frac{53z}{24z} \Rightarrow x = \frac{67{,}5\ rpm \cdot 24z}{53z} = 30{,}56\ rpm$$

Transmisión de velocidades con engranajes intermedios

Sea un mecanismo de tres engranajes a, b y c. si conocemos las revoluciones por minuto del primero podemos hallar las del tercero.



Calculando las rpm del segundo:

$$\frac{rpm_a}{rpm_b} = \frac{z_b}{z_a} \Rightarrow rpm_b = \frac{rpm_a \cdot z_a}{z_b} \text{ ... (Ecuación 1)}$$

Para luego hallar las rpm del tercero:

$$\frac{rpm_b}{rpm_c} = \frac{z_c}{z_b} \Rightarrow rpm_c = \frac{rpm_b \cdot z_b}{z_c} \text{ ... (Ecuación 2)}$$

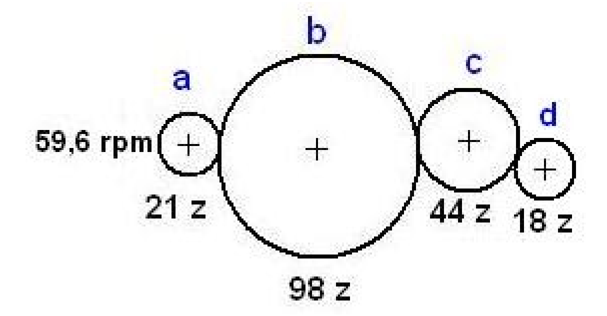
Pero efectuando el reemplazo de (E1) en (E2):

$$rpm_c = \frac{\frac{rpm_a \cdot z_a}{z_b} \cdot z_b}{z_c} = \frac{rpm_a \cdot z_a}{z_c}$$

Como se ha observado, el número de dientes del engranaje **b** se anula, dado que por ser un engranaje parásito (intermedio) se comporta al mismo tiempo como conducido (por **a**) y conductor (de **b**). Por lo tanto, para efectos del cálculo en la transmisión del movimiento, no se toma en cuenta.[2]

[2] Sí debe considerarse, en cambio, cuando se desea conocer los sentidos de giro.

Ejemplo: Se tiene una transmisión de 4 engranajes, el primero tiene 21 dientes y gira a 59,6 revoluciones por minuto y transmite movimiento a un engranaje de 98 dientes, que a su vez acciona a un engranaje de 44 dientes y éste conduce a uno de 18 dientes. Se desea saber la velocidad de rotación del cuarto engranaje (**d**).



Empleando la fórmula general primero calculamos la velocidad de giro del engranaje **b**:

$$\frac{59{,}6\ rpm_a}{rpm_b} = \frac{98z}{21z} \Rightarrow rpm_b = \frac{59{,}6\ rpm_a \cdot 21z}{98z} = 12{,}771\ rpm_b$$

Luego hallamos las rpm del engranaje **c**:

$$\frac{12{,}771\ rpm_b}{rpm_c} = \frac{44z}{98z} \Rightarrow rpm_c = \frac{12{,}771\ rpm_b \cdot 98z}{44z} = 28{,}444\ rpm_c$$

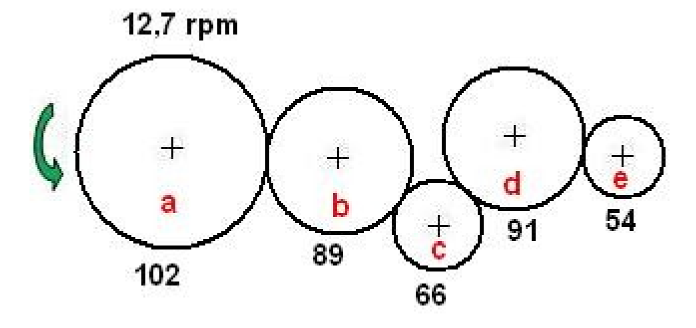
Luego hallamos las rpm del engranaje **d**:

$$\frac{28{,}444\ rpm_c}{rpm_d} = \frac{18z}{44z} \Rightarrow rpm_d = \frac{28{,}444\ rpm_c \cdot 44z}{18z} = 69{,}53\ rpm_d$$

Si aplicamos la fórmula sin considerar los dientes de los engranajes parásitos, obtendremos el mismo resultado:

$$\frac{59{,}6\ rpm_a}{rpm_d} = \frac{18z}{21z} \Rightarrow rpm_d = \frac{59{,}6\ rpm_a \cdot 21z}{18z} = 69{,}53\ rpm_d$$

Ejercicio: Calcular las rpm y el sentido de giro para el engranaje **e**, si las rpm del engranaje **a** son 12,7 en sentido antihorario. Los números mostrados en la parte inferior de cada piñón corresponden a su cantidad de dientes.



Respuesta: El engranaje **e** gira a 23,99 rpm en sentido antihorario.

INSTRUMENTACIÓN

TACÓMETRO

El tacómetro es un instrumento diseñado para medir la velocidad de los diferentes tipos de cilindros y engranajes, la velocidad lineal de hilos y tejidos en el trabajo y la velocidad periférica de cilindros, poleas, engranajes, etc.

El tacómetro es un instrumento manual, su diseño mecánico está basado en el principio centrífugo. El desplazamiento de la volante sobre la rotación del eje contra la resistencia de un resorte, es aproximadamente proporcional al cuadrado de la velocidad. Para dar lecturas seguras del movimiento de la aguja, el instrumento es regulado por otro lado.



Fig. 16 Tacómetro analógico

El tacómetro es un instrumento de alta calidad, que posee protección contra oscilaciones súbitas o repentinas y velocidades mayores a su rango. Este instrumento posee un dispositivo (tuerca moleteada) que facilita trabajar sobre varias velocidades, es decir: 0 a 500, 0 a 5000, ó 0 a 50000 rpm.

La velocidad rotacional puede determinarse directamente, presionando el eje del tacómetro sobre el eje a medir, o sobre el huso de la continua en rotación.

La velocidad de superficies, es decir, la velocidad periférica de los rodillos de presión o cilindros de estiraje, etcétera, puede medirse por medio de un disco previamente fijado en el eje del tacómetro, presionando el extremo del disco contra el movimiento de la superficie. El diámetro del disco es tal, que la velocidad periférica (en m/min o pies/min) se obtiene dividiendo la indicación del dial por un factor, que depende del tipo de tacómetro.

Por ejemplo: Un tacómetro cuyo disco desarrolla una circunferencia de 4”, al medir la velocidad superficial de un rodillo genera una lectura de 130 rpm, entonces la velocidad superficial del rodillo será:

$$Velocidad\ \ periférica = 4''\cdot 130\ \mathrm{min}^{-1} = 520''/\mathrm{min}$$

Los metros/minuto serán:

$$Velocidad\ \ periférica = 4''\cdot 0{,}0254 \cdot 130\ \mathrm{min}^{-1} = 13{,}2\ m/\mathrm{min}$$

Cuando parte de la máquina, por su ubicación, imposibilita el uso directo del tacómetro, se utiliza un cordón entre la parte de la máquina y la poleíta del dispositivo para velocidades superficiales (periféricas). La velocidad en rpm del eje en cuestión se determina por la siguiente fórmula:

$$rpm_{eje\ máquina} = n \cdot \frac{\phi_{poleíta}}{\phi_{eje\ máquina}}$$

Donde:

n	: número de rpm indicado en el tacómetro
$\phi_{poleíta}$	: diámetro de la poleíta (varía según el tipo de tacómetro)
$\phi_{eje\ máquina}$	: diámetro del eje de la máquina

Por ejemplo: n = 450 ; $\phi_{poleíta}$ = 25 mm ; $\phi_{eje\ máquina}$ = 20 mm

La velocidad en rpm será:

$$rpm = 450 \cdot \frac{25\ mm}{20\ mm} = 562{,}5$$

ESTROBOSCOPIO

El estroboscopio es un instrumento que permite visualizar un objeto que está girando como si estuviera parado o girando muy lentamente.



Fig. 17 Estroboscopio

Permite encender y apagar luces, en un lapso dado, la cantidad de veces que uno desee. En esencia un estroboscopio está dotado de una lámpara, normalmente del tipo de descarga gaseosa de xenón, similar a las empleadas en los flashes de fotografía, con la diferencia de que en lugar de un destello, emite una serie de ellos consecutivos y con una frecuencia regulable.

Si tenemos un objeto que está girando a n revoluciones por minuto y regulamos la frecuencia del estroboscopio a n destellos por minuto e iluminamos con él el objeto giratorio, éste, al ser iluminado siempre en la misma posición, aparecerá a nuestros ojos como si estuviese detenido.

Si la frecuencia de los destellos no coincide exactamente con la de giro, pero se aproxima mucho a ella, veremos el objeto moverse lentamente, hacia adelante o hacia atrás según que la frecuencia de destello del estroboscopio sea, respectivamente, inferior o superior a la de giro.

El estroboscopio se emplea para verificar la velocidad de giro de máquinas y motores de diversas clases, sin necesidad de efectuar acoplamiento eléctrico o mecánico alguno. Es de uso muy difundido en la hilandería, especialmente para determinar la velocidad de giro de husos en las continuas de anillos.

RELOJ COMPARADOR



Fig. 18

Llamado también comparador de esfera, consiste en una caja metálica de forma circular atravesada por una varilla o palpador desplazable axialmente algunos milímetros. En su desplazamiento la varilla hace girar, por medio de varios engranajes, una aguja que señalará sobre una esfera dividida en 100 partes el recorrido por el palpador, haciendo posible la lectura directa y fácil de las diferencias de medida.

La precisión de un reloj comparador puede ser de centésimas de milímetros o incluso de milésimas de milímetros (micras) según la escala a la que esté graduado. También se presentan en milésimas de pulgada.

Es un instrumento muy útil para la verificación de diferentes tareas de mecanizado, especialmente la excentricidad de ejes de rotación.

En el uso de este instrumento deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- Nunca golpearlo o dejarlo caer.
- Tomar las precauciones necesarias para montar el reloj comparador cuando las máquinas están en movimiento.
- La presión de la punta del palpador sobre la superficie debe ser equivalente a una vuelta de la aguja en el cuadrante.
- Mantenerlo siempre limpio y en su respectivo estuche.

Nomenclatura

Las partes principales del reloj comparador:

1. Perno regulador
2. Orificio de fijación
3. Palpador
4. Dial (aguja)
5. Escala cuadrante



Fig. 19 Reloj comparador analógico



Fig. 20 Reloj comparador digital

Bases magnéticas

Son utensilios que por acción del flujo magnético, se utilizan en la fijación directa e indirecta de los comparadores de carátulas (relojes comparadores), para facilitar la medición de la excentricidad de los cilindros de estiraje y de los rodillos de presión de manuares, mecheras y continuas.

Básicamente, las bases magnéticas comprenden:

1. Base
2. Tuerca de fijación del eje
3. Eje base
4. Tornillo de fijación
5. Eje del reloj comparador
6. Soporte del eje
7. Soporte del reloj comparador
8. Tornillo de fijación del reloj comparador



Fig. 21 Base magnética de un reloj comparador

Usos

Los relojes comparadores son de gran utilidad en los talleres mecánicos. Con estos instrumentos, utilizando soportes adecuados, se puede realizar:

- Control de paralelismo de superficies
- Control comparativo entre piezas
- Control de paralelismo de guías
- Control de perpendicularidad
- Control de excentricidad
- Control de coaxialidad

En la hilandería se emplea este instrumento para medir la excentricidad de cilindros y rodillos de estiraje, que generan defectos periódicos en el material.

¿Cuándo un cilindro es excéntrico?

Un cilindro de estiraje o de presión se considera excéntrico cuando el centro o eje alrededor del cual gira, no es el mismo que el eje geométrico, considerando la superficie exterior.

¿Cómo se calcula la excentricidad?

Estando el reloj comparador correctamente montado en la superficie de trabajo, se procede a calcular la carrera excéntrica y la excentricidad.

a. Medición de la carrera excéntrica (H)

Se lee el reloj comparador. En primer lugar, en la posición más alta (M_1) y, a continuación, en la posición más baja de la pieza excéntrica (M_2).

$$H = M_1 - M_2$$

Ejemplo:

$M_1 = 9{,}00$ $M_2 = 1{,}58$ $H = 9{,}00 - 1{,}58 = 7{,}42$

b. Cálculo de la excentricidad (e)

$$e = \frac{H}{2} = \frac{M_1 - M_2}{2}$$

$$e = \frac{9{,}00 - 1{,}58}{2} = \frac{7{,}42}{2} = 3{,}71$$

En las siguientes figuras se ilustra claramente la medición de la excentricidad en un cilindro excéntrico y en un cilindro ovalado:

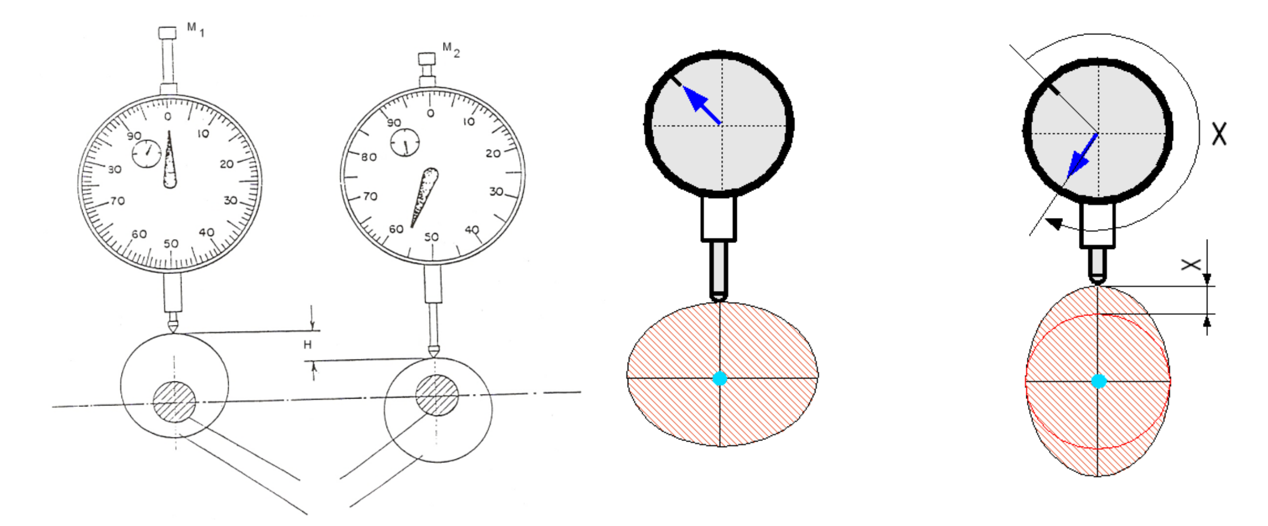


Fig. 22 Cilindro excéntrico

Fig. 23 Cilindro ovalado

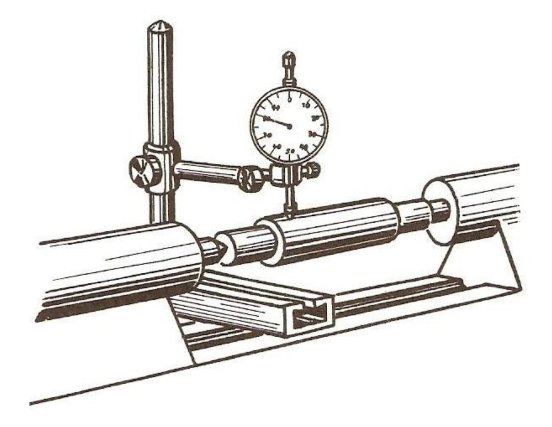


Fig. 24 El reloj comparador tiene que ir incorporado a una galga de verificación o a un soporte con pie magnético que permite colocarlo en la zona de la máquina que se desee.

MICROSCOPIO

Es un instrumento que permite observar objetos que son demasiado pequeños para ser vistos a simple vista. De acuerdo a su principio puede ser óptico o electrónico.

MICROSCOPIO ÓPTICO

Es el tipo más común y el primero que se inventó. Contiene una o varias lentes que permiten obtener una imagen aumentada del objeto y que funciona por refracción de un haz de luz.

Existen dos tipos de microscopios ópticos:

Microscopio simple



Fig. 25 Microscopio óptico simple

Un microscopio simple es aquel que solo utiliza una lente de aumento. El ejemplo más clásico es la lupa.

Microscopio compuesto

El microscopio óptico compuesto utiliza dos sistemas de lentes alineados. Está conformado por tres sistemas:

- ☑ **Sistema mecánico.** Constituido por una serie de piezas en las que van instaladas las lentes, que permiten el movimiento para el enfoque.
- ☑ **Sistema óptico.** Comprende un conjunto de lentes, dispuestas de tal manera que producen el aumento de las imágenes que se observan a través de ellas.
- ☑ **Sistema de iluminación.** Comprende las partes del microscopio que reflejan, transmiten y regulan la cantidad de luz necesaria para efectuar la observación a través del microscopio.

Sistema mecánico

Comprende:

- Pie. Constituye la base sobre la que se apoya el microscopio y tiene por lo general forma de Y o bien es rectangular.
- Tubo. Tiene forma cilíndrica y está ennegrecido internamente para evitar las molestias que ocasionan los reflejos de la luz. En su extremidad superior se colocan los oculares.
- Revólver. Es una pieza giratoria provista de orificios en los que se enroscan los objetivos. Al girar el revólver, los objetivos pasan por el eje del tubo y se colocan en posición de trabajo, lo que se nota por el ruido de un piñón que lo fija.
- Columna. Llamada también asa o brazo, es una pieza colocada en la parte posterior del aparato. Sostiene el tubo en su porción superior y por el extremo inferior se adapta al pie.
- Platina. Es una pieza metálica plana en la que se coloca la preparación u objeto que se va a observar. Presenta un orificio, en el eje óptico del tubo, que permite el paso de los rayos luminosos a la preparación. La platina puede ser fija, en cuyo caso permanece inmóvil; en otros casos puede ser giratoria; es decir, mediante tornillos laterales puede centrarse o producir movimientos circulares.



Fig. 26 Microscopio óptico compuesto

- Carro. Es un dispositivo, colocado sobre la platina, que permite deslizar la preparación con movimiento ortogonal de adelante hacia atrás y de derecha a izquierda.
- Tornillo macrométrico. Girando este tornillo, asciende o desciende el tubo del microscopio, deslizándose en sentido vertical gracias a una cremallera. Estos movimientos largos permiten el enfoque rápido de la preparación.
- Tornillo micrométrico. Mediante el movimiento casi imperceptible que produce al deslizar el tubo o la platina, se logra el enfoque exacto y nítido de la preparación. Lleva acoplado un tambor graduado en divisiones de 0,001 mm, que se utiliza para precisar sus movimientos y puede medir el espesor de los objetos.

Estos elementos sostienen la parte óptica y de iluminación; además, permiten los desplazamientos necesarios para el enfoque del objeto.

Sistema óptico

El sistema óptico es el encargado de reproducir y aumentar las imágenes mediante el conjunto de lentes que lo componen. Está formado por los oculares y los objetivos. El objetivo proyecta una imagen de la muestra que el ocular luego amplía.

- Los oculares están constituidos generalmente por dos lentes, dispuestas sobre un tubo corto. Los oculares más generalmente utilizados son los de: 8X, 10X, 12,5X, 15X. La X se utiliza para expresar en forma abreviada los aumentos.
- Los objetivos se disponen en una pieza giratoria denominada revólver y producen el aumento de las imágenes de los objetos y organismos, y, por tanto, se hallan cerca de la preparación que se examina. Los objetivos utilizados corrientemente son de dos tipos: objetivos secos y objetivos de inmersión.

  Los objetivos secos se utilizan sin necesidad de colocar sustancia alguna entre ellos y la preparación. En la cara externa llevan una serie de índices que indican el aumento que

producen, la abertura numérica y otros datos. Así, por ejemplo, si un objetivo tiene estos datos: plan 40/0,65 y 160/0,17, significa que el objetivo es planacromático, su aumento 40 y su abertura numérica 0,65, calculada para una longitud de tubo de 160 mm. El número de objetivos varía con el tipo de microscopio y el uso a que se destina. Los aumentos de los objetivos secos más frecuentemente utilizados son: 6X, 10X, 20X, 45X y 60X.

El objetivo de inmersión está compuesto por un complicado sistema de lentes. Para observar a través de este objetivo es necesario colocar una gota de aceite de cedro entre el objetivo y la preparación, de manera que la lente frontal entre en contacto con el aceite de cedro. Generalmente, estos objetivos son de 100X y se distingue por uno o dos círculos o anillos de color negro que rodea su extremo inferior.

Sistema de iluminación

Este sistema tiene como finalidad dirigir la luz natural o artificial de tal manera que ilumine la preparación u objeto que se va a observar en el microscopio de la manera adecuada. Comprende los siguientes elementos:

- Fuente de iluminación. Se trata generalmente de una lámpara incandescente de tungsteno sobrevoltada. Por delante de ella se sitúa un condensador (una lente convergente) e, idealmente, un diafragma de campo, que permite controlar el diámetro de la parte de la preparación que queda iluminada, para evitar que exceda el campo de observación produciendo luces parásitas.
- El espejo. Necesario si la fuente de iluminación no está construida dentro del microscopio y ya alineada con el sistema óptico, como suele ocurrir en los microscopios modernos. Suele tener dos caras: una cóncava y otra plana. Goza de movimientos en todas las direcciones. La cara cóncava se emplea de preferencia con iluminación artificial, y la plana, para iluminación natural (luz solar).
- Condensador. El condensador está formado por un sistema de lentes, cuya finalidad es concentrar los rayos luminosos sobre el plano de la preparación, formando un cono de luz con el mismo ángulo que el del campo del objetivo. El condensador se sitúa debajo de la platina y su lente superior es generalmente planoconvexa, quedando la cara superior plana en contacto con la preparación cuando se usan objetivos de gran abertura (los de mayor ampliación); existen condensadores de inmersión, que piden que se llene con aceite el espacio entre esa lente superior y la preparación. La abertura numérica máxima del condensador debe ser al menos igual que la del objetivo empleado, o no se logrará aprovechar todo su poder separador. El condensador puede deslizarse verticalmente sobre un sistema de cremallera mediante un tornillo, bajándose para su uso con objetivos de poca potencia.
- Diafragma. El condensador está provisto de un diafragma-iris, que regula su abertura para ajustarla a la del objetivo. Puede emplearse, de manera irregular, para aumentar el contraste, lo que se hace cerrándolo más de lo que conviene si se quiere aprovechar la resolución del sistema óptico.

El haz luminoso procedente de la lámpara pasa directamente a través del diafragma al condensador. Gracias al sistema de lentes que posee el condensador, la luz es concentrada sobre la preparación a observar. El haz de luz penetra en el objetivo y sigue por el tubo hasta llegar al ocular, donde es captado por el ojo del observador.

PROPIEDADES DEL MICROSCOPIO

- **Poder separador**. También llamado a veces poder de resolución, es una cualidad del microscopio, y se define como la distancia mínima entre dos puntos próximos que pueden verse separados. El ojo normal no puede ver separados dos puntos cuando su distancia es menor a una décima de milímetro. En el microscopio viene limitado por la longitud de onda de la radiación empleada; en el microscopio óptico, el poder separador máximo conseguido es de 0,2 décimas de micrómetro (la mitad de la longitud de onda de la luz azul), y en el microscopio electrónico, el poder separador llega hasta 10 Å.

- **Poder de definición**. Se refiere a la nitidez de las imágenes obtenidas, sobre todo respecto a sus contornos. Esta propiedad depende de la calidad y de la corrección de las aberraciones de las lentes utilizadas.
- **Ampliación del microscopio**. En términos generales se define como la relación entre el diámetro aparente de la imagen y el diámetro o longitud del objeto. Esto quiere decir que si el microscopio aumenta 100 diámetros un objeto, la imagen que estamos viendo es 100 veces mayor linealmente que el tamaño real del objeto (la superficie de la imagen será 100^2, es decir 10 000 veces mayor). Para calcular el aumento que está proporcionando un microscopio, basta multiplicar los aumentos respectivos debidos al objetivo y el ocular empleados. Por ejemplo, si estamos utilizando un objetivo de 45X y un ocular de 10X, la ampliación con que estamos viendo la muestra será: 45X x 10X = 450X, lo cual quiere decir que la imagen del objeto está ampliada 450 veces, también expresado como 450 diámetros.

$$Ampliación = \frac{Longitud\ aparente}{Longitud\ real}$$

Ejercicio

Se tiene una fibra de lana que vista en un microscopio, tiene un diámetro aparente de 10 milímetros, ¿cuál será el diámetro real de la fibra, si se sabe que el microscopio aumenta 10 veces en el ocular y 40 veces en el objetivo?

Solución

Sabemos que:

- Aumento en el ocular : 10X
- Aumento en el objetivo : 40X
- Diámetro aparente : 10 mm (=10000 μm)

Primero determinamos la ampliación del microscopio:

$$Ampliación = 40X \cdot 10X = 400X$$

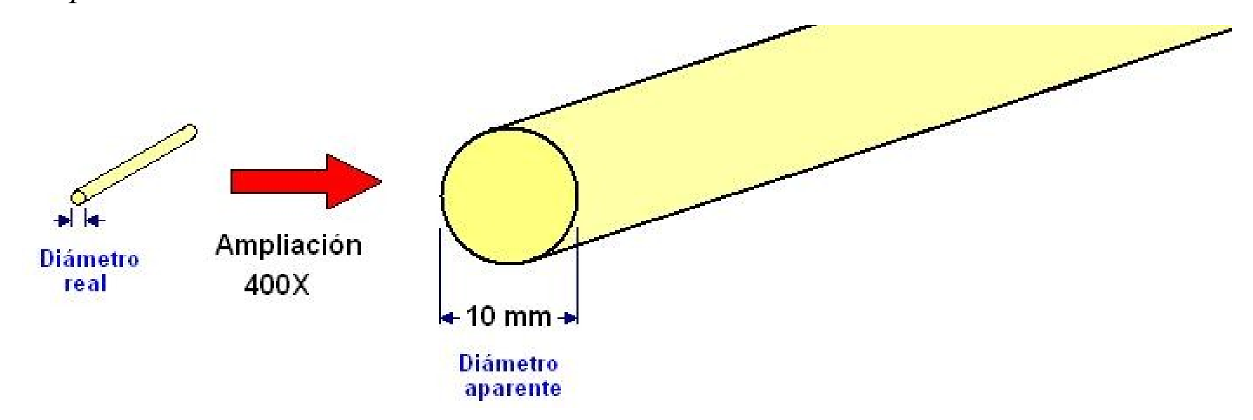


Fig. 27 Ampliación de 400 veces de una fibra

Luego calculamos el diámetro real de la fibra:

$$400X = \frac{10000\ \mu m}{Longitud\ real} \Rightarrow Longitud\ real = \frac{10000\ \mu m}{400X} = 25\ \mu m$$

Respuesta: La fibra de lana tiene un diámetro de 25 micras.

MICROSCOPIO ELECTRÓNICO

Un microscopio electrónico utiliza electrones en lugar de fotones (luz visible) para formar imágenes de objetos diminutos. Permiten alcanzar ampliaciones hasta 5000 veces más potentes que los mejores microscopios ópticos, debido a que la longitud de onda de los electrones es mucho menor que la de los fotones *visibles*.

El primer microscopio electrónico fue diseñado por Ernst Ruska y Max Knoll entre 1925 y 1930, quiénes se basaron en los estudios de Louis-Victor de Broglie acerca de las propiedades ondulatorias de los electrones.

Un microscopio electrónico funciona con un haz de electrones generados por un cañón electrónico, acelerados por un alto voltaje y focalizados por medio de lentes magnéticas (todo ello al alto vacío ya que los electrones son absorbidos por el aire). Un rayo de electrones atraviesa la muestra (debidamente deshidratada y en algunos casos recubierta de una fina capa metálica para resaltar su textura) y la ampliación se produce por un conjunto de lentes magnéticas que forman una imagen sobre una placa fotográfica o sobre una pantalla sensible al impacto de los electrones que transfiere la imagen formada a la pantalla de un ordenador. Los microscopios electrónicos producen imágenes sin ninguna clase de información de color, puesto que este es una propiedad de la luz y no hay una forma posible de reproducir este fenómeno mediante los electrones; sin embargo, es posible colorear las imágenes posteriormente, aplicando técnicas de retoque digital a través del ordenador.

Existen dos tipos de microscopios ópticos:

Microscopio electrónico de transmisión (MET)

Emite un haz de electrones dirigido hacia el objeto cuya imagen se desea aumentar. Una parte de los electrones rebotan o son absorbidos por el objeto y otros lo atraviesan formando una imagen aumentada de la muestra. El especimen debe cortarse en capas finas, no mayores de un par de miles de angstroms. Estos microscopios pueden aumentar la imagen de un objeto hasta un millón de veces.

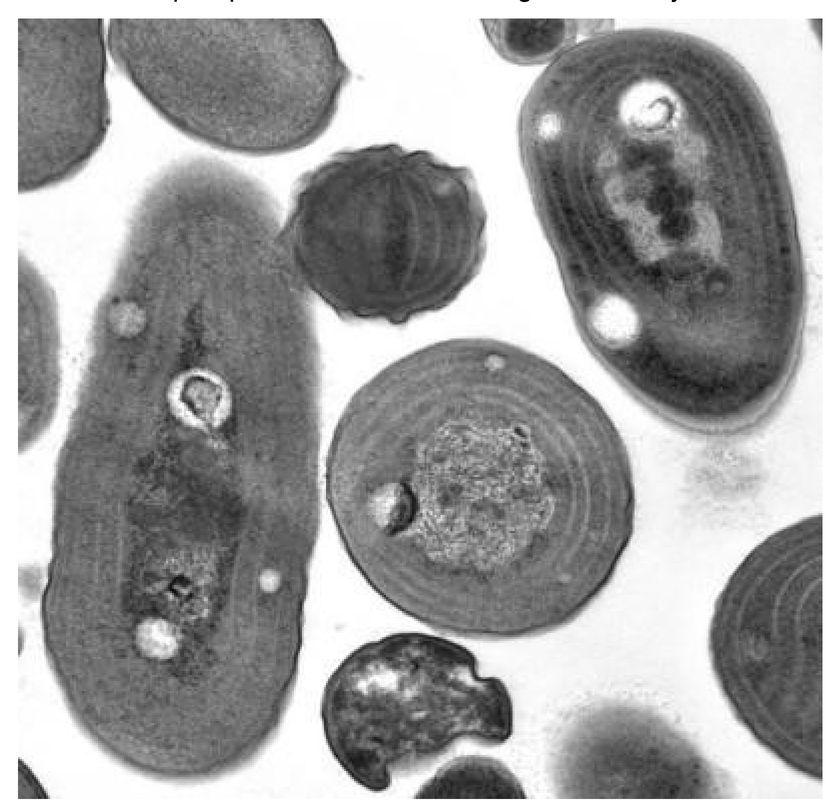


Fig. 28 Imagen tomada con un MET de un *Synechococcus*, bacteria unicelular presente en medios marinos. Alcanza dimensiones de 0,8 a 1,5 μm.

Microscopio electrónico de barrido (MEB)

Tiene una gran profundidad de campo, la cual permite que se enfoque a la vez una gran parte de la muestra. También produce imágenes de alta resolución, que significa que características espacialmente cercanas en la muestra pueden ser examinadas a una alta ampliación. La preparación de las muestras es relativamente fácil, pues la mayoría de MEBs sólo requieren que éstas sean conductoras.

En este microscopio la muestra generalmente es recubierta con una capa de carbón o una capa delgada de un metal como el oro para darle propiedades conductoras a la muestra. Posteriormente es barrida con los electrones acelerados que viajan a través del cañón. Un detector mide la cantidad de electrones enviados que arroja la intensidad de la zona de muestra, siendo capaz de mostrar figuras en tres dimensiones, proyectados en una imagen de TV o una imagen digital. Su resolución está entre 4 y 20 nm, dependiendo del microscopio.

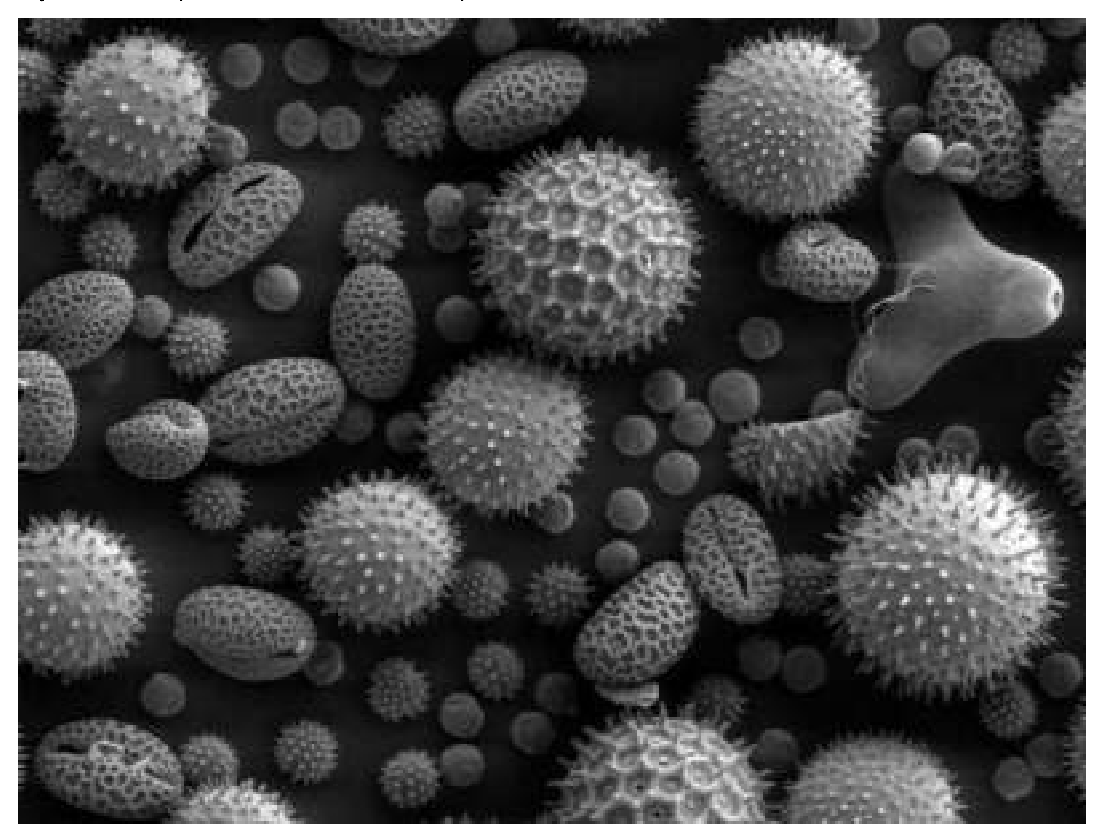


Fig. 29 Imagen de diferentes tipos de polen, tomada con un MEB.

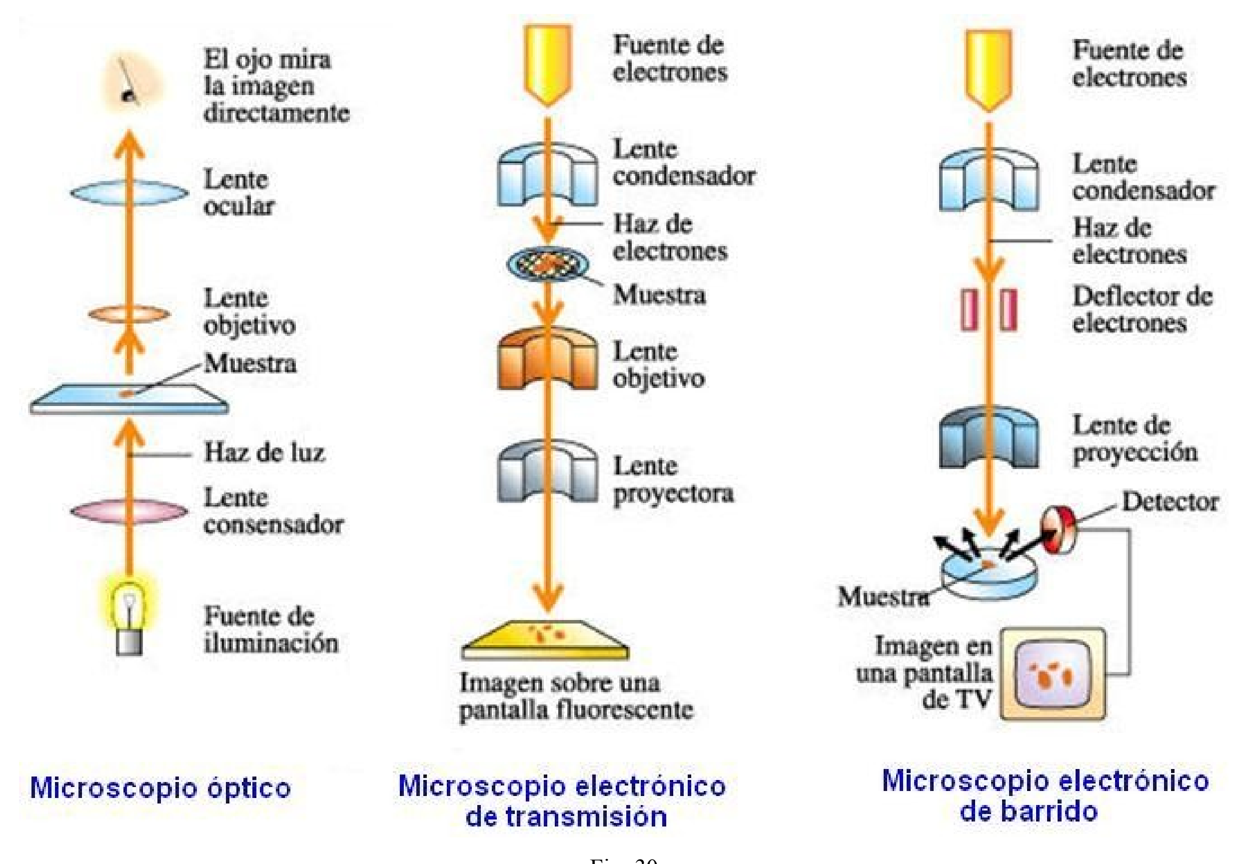


Fig. 30

EFICIENCIA DE MÁQUINAS

Ninguna máquina trabaja de manera ininterrumpida, siempre ocurren eventos que obligan a detenerla durante cierto tiempo

- Espera de aprobación (visto bueno del laboratorio o del encargado de turno si un parámetro de calidad está fuera de tolerancia o en un rango dudoso)
- Desperfectos mecánicos y/o regulaciones
- Cambio de formato de salida por llenado (cambio de mudadas en la continua, o cambio de tachos en el manuar, por ejemplo)
- Accionamiento de mecanismos de seguridad y control (sistema paraurdimbre y paratrama de telares, disparos en las tricotosas)

Por todo ello, es necesario estimar cuánto tiempo trabaja una máquina de un tiempo total, esta relación se expresa de manera porcentual y se denomina **porcentaje de eficiencia**.

La fórmula para calcular el porcentaje de eficiencia (%E) es:

$$\%E = \frac{tiempo\ trabajado}{tiempo\ de\ observación} \cdot 100$$

Ejemplo

Se desea conocer la eficiencia de un telar, para ello una persona inicia su observación mientras está trabajando, cada vez que la máquina se detiene por cualquier motivo, se registra el tiempo de paro con ayuda de un cronómetro. Cuando el telar vuelve a trabajar se detiene el conteo, y se reanuda con cada nuevo paro.

La idea es que al finalizar el tiempo de observación, el cronómetro registre la sumatoria de los tiempos que el telar estuvo detenido.

Los datos obtenidos fueron:

- Hora de inicio : 8:30 h
- Hora de fin : 12:45 h
- Tiempo total de paro : 28 minutos

Cálculos

- $tiempo\ de\ observación = 12{,}75\ h - 8{,}5\ h = 4{,}25\ h$
- $tiempo\ de\ paro = 28\ \text{min} = 0{,}47\ h$
- $tiempo\ trabajado = 4{,}25\ h - 0{,}47\ h = 3{,}78\ h$
- $\%E = \dfrac{3{,}78\ h}{4{,}25\ h} \cdot 100 = 88{,}9\%$

Entonces se determina que el telar tiene una eficiencia de 88,9%

BIBLIOGRAFÍA

- Mitacc Meza, Máximo. *Tópicos de estadística descriptiva y probabilidad*. Editorial San Marcos, 1989.
- Recasens Ariza, José Mª. *Aplicación práctica del control de calidad en el tisaje*. Asociación de Investigación Algodonera.
- SENATI. *Tecnología II. Control de Calidad Textil*. 1994.

FUENTES ELECTRÓNICAS

- Casal, Jordi y Mateu, Enric. *Tipos de muestreo* [en línea] <http://minnie.uab.es/~veteri/21216/TiposMuestreo1.pdf> [consulta: 03 de febrero de 2009]
- Fundación Wikimedia, Inc. *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. Consultas varias. <http://es.wikipedia.org>
- Lockuán Lavado, Fidel. *Libros textiles gratuitos* [en línea] <http://fidel-lockuan.webs.com> [consulta: 05 de octubre de 2012]
- Real Academia Española. *Diccionario de la Real Academia Española* [en línea]. Consultas varias. <http://www.rae.es/rae.html>